

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ADRIEL CARDOSO DA ROSA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA
MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO
MICROCONTROLADORES COM MONITORAMENTO VIA SISTEMA
SUPERVISÓRIO ONLINE**

CRICIÚMA

2019

ADRIEL CARDOSO DA ROSA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA
MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO
MICROCONTROLADORES COM MONITORAMENTO VIA SISTEMA
SUPERVISÓRIO ONLINE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de Bacharel no curso de
Ciência da Computação da Universidade do
Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Sérgio Coral

CRICIÚMA

2019

ADRIEL CARDOSO DA ROSA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA
MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO
MICROCONTROLADORES COM MONITORAMENTO VIA SISTEMA
SUPERVISÓRIO ONLINE**

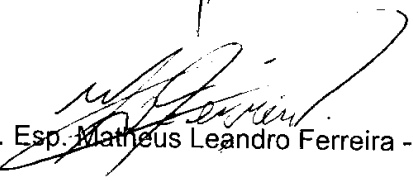
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela
Banca Examinadora para obtenção do Grau de
Bacharel, no Curso de Ciência da Computação
da Universidade do Extremo Sul Catarinense,
UNESC, com Linha de Pesquisa em Automação
de Sistemas

Criciúma, 09 de dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Esp. Sérgio Coral – UNESC – Orientador


Prof. Me. Evânio Ramos Nicoleit - UNESC


Prof. Esp. Matheus Leandro Ferreira - UNESC

**A todos os meus professores e colegas, que
tiveram papel fundamental durante minha
trajetória acadêmica.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu saúde e sabedoria para concluir este percurso e superar todos os obstáculos.

Aos meus amigos e familiares, que foram fundamentais em toda minha trajetória, me apoiando e incentivando quando necessário.

Ao orientador deste trabalho, o Prof. Esp. Sérgio Coral, por todo apoio e auxílio no desenvolvimento do mesmo.

Aos meus colegas do trabalho, que estiveram me apoiando nos momentos de dificuldade, contribuindo com ideias, sugestões e críticas, possibilitando assim o amadurecimento e desenvolvimento deste trabalho.

“Algumas pessoas não gostam de mudanças, mas você precisa abraçar a mudança se a alternativa for o desastre.”

Elon Musk

RESUMO

A proximidade com que se dará o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a necessidade de reduzir a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) tem feito com que a sociedade repense e adote novas políticas de investimento em fontes de energia renováveis e sustentáveis, fazendo com que elas se popularizem cada dia mais. Com tal processo ocorrendo no mundo, identificou-se a necessidade de pesquisar a respeito da produção de energia a partir de tais fontes e desenvolver um protótipo com o intuito incentivar novas pesquisas, facilitando o entendimento e leitura dos dados através da automatização de medições de eficiência na geração de energia e sincronizando tais informações com um sistema online de monitoramento. Atualmente a identificação de áreas com grande potencial gerador de energia sustentável se dá por meio de mapas e dados disponibilizados através de medições em estações de meteorologia, o que resulta em dados contendo certo grau de dificuldade para interpretação e que não são específicos para aquela determinada localidade/região. Como alternativa para esta demanda foi desenvolvido um protótipo de estação de medição de energias sustentáveis, que apresenta uma proposta de mensuração de áreas com potencial para geração de energia específica para a determinada localidade que se deseja obter tais dados. Foi desenvolvido utilizando tecnologias como o Arduino e Javascript afim de tornar a prototipagem mais simples e os testes eficazes. Um painel solar tem sua tensão medida durante exposição às condições de geração de energia, e tal medição é submetida a uma equação que extrai o percentual de eficiência na conversão/produção de energia e, posteriormente, estes dados são transmitidos a um servidor juntamente com a localização do protótipo. Já no servidor são disponibilizadas tais medições de maneira simplificada e de fácil acesso. Com a construção do protótipo pode-se realizar a verificação de locais com alta taxa de eficiência na produção de energia utilizando a fonte solar, o que pode aumentar o investimento nessa fonte de energia, além de provocar a comunidade científica acerca do assunto, buscando novas pesquisas e trabalhos utilizando o protótipo criado durante a realização deste projeto.

Palavras-chave: Energia. Sustentável. Arduino. Solar. Thingsboard.

ABSTRACT

The proximity to the depletion of fossil fuel reserves and the need to reduce greenhouse gas (GHG) emissions has led society to rethink and adopt new investment policies for renewable and sustainable energy sources, thus making them popularize more each day. With this process taking place in the world, it was identified the need to research about energy production from such sources and develop a prototype to encourage further research, facilitating the understanding and reading of data through the automation of efficiency measurements, power generation and synchronizing the data with an online monitoring system. Currently, the identification of areas with great potential for sustainable energy is provided by maps and data made available through measurements at meteorological stations, which results in data with some degree of interpretation difficulty that are not specific to that particular location/region. As an alternative to this demand, a prototype of a sustainable energy measurement station was developed, which presents a proposal for measuring areas with potential for energy generation for the specific locality to be obtained. It was developed using technologies such as Arduino and Javascript to make prototyping simpler and more effective for testing. A solar panel has its voltage measured during exposure to power generation conditions, and such measurement is subjected to an equation that extracts the percentage of efficiency in energy conversion / production and then this data is transmitted to a server along with the prototype location. On the server such measurements are made available in a simplified and easily accessible way. With the construction of the prototype, it is possible to verify places with a high efficiency rate in energy production using the solar source, which may increase the investment in this energy source, besides provoking the scientific community about the subject, searching for new research and work using the prototype created during the realization of this project.

Keywords: Energy. Sustainable. Arduino. Solar. Thingsboard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz Energética Mundial 2016.....	17
Figura 2 – Matriz Energética Brasileira 2017.....	18
Figura 3 – Usina fotovoltaica do projeto Mineirão Solar.....	20
Figura 4 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica	21
Figura 5 – Analogia de funcionamento do motor unipolar	28
Figura 6 – Analogia de funcionamento do motor bipolar	28
Figura 7 – Arduino UNO R3	32
Figura 9 – Arquitetura <i>publish/subscribe</i> do MQTT	38
Figura 10 – Disposição dos fotoresistores – LDRs.....	44
Figura 11 – Aerogerador de eixo vertical	45
Figura 12 – Sensor de tensão	46
Figura 13 – Cálculo do percentual de eficiência.....	47
Figura 14 – Código de comunicação com o GPS.....	48
Figura 15 – Código de envio da requisição POST via GSM/GPRS.....	49
Figura 16 – Esquema de ligação do módulo MicroSD Card.....	50
Figura 17 – Modelo elétrico do projeto	51
Figura 18 – Widgets de valor percentual desenvolvido no Thingsboard	53
Figura 19 – Widget de mapa com OpenStreetMap desenvolvido no Thingsboard....	54
Figura 20 – Código fonte do utilitário para envio dos dados	55
Figura 21 – Estrutura do JSON	56
Figura 22 – Criação do JSON pelo Arduino	57
Figura 23 – Gravação do arquivo com os dados no cartão de memória	57
Figura 24 – Envio da requisição POST através do utilitário de importação.....	58

LISTA DE TABELAS/GRÁFICOS

Gráfico 1 – Capacidade Instalada de Geração Elétrica: 10 Maiores Países	17
Tabela 2 – Classificação das turbinas eólicas.....	23
Tabela 3 – Lista de componentes utilizados no projeto.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do efeito estufa
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	<i>Internet Protocol</i>
Kbps	Quilobit por segundo
kHz	Quilohertz
kWh	Quilowatt-hora
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MHz	Megahertz
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
Mw	Megawatt
SD	<i>Secure Digital</i>
SDHC	<i>Secure Digital High Capacity</i>
SDXC	<i>Secure Digital Extended Capacity</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TWh	Terawatt-hora
ULA	Unidade Lógica e Aritmética
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
W	Watt
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA.....	16
2.2.1 Matriz energética mundial	16
2.2.2 Matriz energética brasileira	18
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	18
2.2.1 Energia solar no brasil.....	19
2.2.2 Efeito fotovoltaico e seus componentes.....	21
2.3 ENERGIA EÓLICA.....	22
2.3.1 Turbinas eólicas	22
2.4 POTENCIAIS ELÉTRICOS	23
2.4.1 Fotovoltaico	23
2.4.2 Eólico.....	25
2.5 SENSORES	26
2.6 ATUADORES	26
2.6.1 Motores elétricos.....	27
2.7 MICROCONTROLADORES.....	29
2.7.1 Arduino.....	31
2.8.1 Protocolos de comunicação.....	34
2.8.2 Cartão de memória SD	38
3 TRABALHOS CORRELATOS	40
3.1 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR PARA PAINEL FOTOVOLTAICO.....	40
3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO CAMPUS DA UTFPR DE GUARAPUAVA	40
3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E UM PROGRAMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	41

3.4 SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE GERADOR EÓLICO.....	41
3.5 APROVEITAMENTO INTELIGENTE DE ENERGIA SOLAR	41
4 DESENVOLVIMENTO DA ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO	43
4.1 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE	43
4.1.1 Rastreador solar biaxial.....	43
4.1.2 Aerogerador de eixo vertical	45
4.1.3 Sensores de tensão.....	45
4.1.4 Módulo GPS e GSM.....	47
4.1.5 Unidade de armazenamento	49
4.1.6 Montagem do circuito	50
4.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	52
4.2.1 Criação do sistema supervisório com Thingsboard	52
4.2.2 Utilitário para importação de dados	54
4.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	56
4.4 MATERIAIS UTILIZADOS	58
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis de fontes esgotáveis, como o carvão, o óleo e o gás natural, porém a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis vem crescendo exponencialmente a cada ano e ganhando cada vez mais espaço na matriz, que atualmente, é ocupada com 5,6% de fontes renováveis (solares, eólicas, geotérmicas e de mares) (EPE, 2019).

O Brasil possui a fonte hídrica como origem predominante em sua matriz energética, porém, apesar de renovável, tal fonte tem grande impacto ambiental. Já as fontes eólicas e solares, somadas, atingem apenas 7% da matriz, apesar de possuímos grande potencial na geração de energia através de tais fontes (BEN, 2018).

Tal desinteresse por parte dos investidores e da população, pode-se dar devido à complexidade na identificação de áreas com potencial para serem geradoras de energia através de fontes solares e eólicas, a dificuldade no acompanhamento das medições e estimativas da capacidade de produção, o gerenciamento do histórico de dados já coletados e o alto custo com o investimento inicial em equipamentos necessários (painéis fotovoltaicos, aerogeradores, etc.).

Devido as situações citadas anteriormente, e buscando disseminar a produção de energia através de fonte solar e eólica, o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB, criou duas ferramentas que exibem informações do ponto mais próximo das coordenadas de entrada do usuário. Estas ferramentas são: O Sundata, que tem o objetivo de exibir a irradiação solar diária média mensal ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$) para energia solar, e a Base de Dados de Vento, que se destina a energia eólica, e exibe a densidade de potência anual (W/m^2) a uma altura fixa de 50 metros.

Apesar de serem extremamente úteis e apresentarem informações de extrema importância, as ferramentas citadas anteriormente possuem limitações quanto ao local em que foi realizado os últimos cálculos (quando o usuário informa uma coordenada, as ferramentas buscam o ponto mais próximo em que houveram medições, normalmente a estação meteorológica mais próxima), o ângulo de

inclinação do painel solar (o Sundata dispõe apenas de algumas inclinações predefinidas pela ferramenta) e a altura fixa das métricas eólicas.

Diante dos pontos citados anteriormente, foi desenvolvido um protótipo de circuito para medição da eficiência na produção de energia utilizando fonte solar e eólica, sendo um sistema de aquisição de dados integrado a um sistema supervisorio, ao qual disponibiliza tais informações e medições via internet.

O protótipo foi construído utilizando um circuito micro controlado com sensores para fazer as medições da eficiência na produção de energia sustentável para o local onde encontra-se, tais informações são armazenadas juntamente com data, hora e localização (coordenadas) em um cartão SD e enviadas à nuvem, onde está hospedado o sistema supervisorio.

Usando um dispositivo com acesso à internet, é possível acompanhar em tempo real as coletas realizadas pelo sistema de aquisição de dados, e a partir disso, pode-se disponibilizar uma infinidade de recursos que podem ser implementados para aprimorar e adicionar funcionalidades ao projeto, auxiliando em projetos de pesquisa futuros e também na difusão e incentivo ao investimento em fontes de energias sustentáveis.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo de sistema de aquisição de dados micro controlado para medição da eficiência na geração de energia a partir de fontes sustentáveis, armazenando essas informações, juntamente com a localização, em nuvem e exibindo-as através de um sistema supervisorio online.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste projeto consistem em:

- a) desenvolver um sistema de aquisição de dados que medirá a eficiência de uma localização na geração elétrica fotovoltaica biaxial capaz de localizar o sol e segui-lo;

- b) integrar o sistema de monitoramento desenvolvido em uma placa de prototipagem microcontrolada;
- c) realizar a coleta dos dados, enviá-los para a nuvem e armazená-los em um servidor web;
- d) disponibilizar as informações obtidas através de um sistema supervisório na web.

1.3 JUSTIFICATIVA

As fontes renováveis de energia tiveram considerável aumento em sua procura no mundo todo, devido, principalmente, a proximidade com que se dará o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a necessidade de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Desde então, vem sendo necessária uma modificação das fontes de produção de energia, visando utilizar as que são renováveis (SANTOS et al., 2014).

Contudo, tais fontes de energia enfrentam alguns problemas de ordem econômica na sua expansão em virtude da necessidade de um alto investimento inicial e da incerteza dos ganhos, o que acaba gerando incertezas, e sensação de alto risco para os produtores e investidores do ramo, e conseqüentemente, se torna uma barreira para sua expansão (WALTER, 2000).

Para se medir o potencial gerador de energia renovável de um local, no caso de fontes solares, por exemplo, é a partir da sua irradiação solar, ou ainda, no caso de fontes eólicas, isso se dá a partir das suas correntes de vento. Porém, esse tipo de informação, atualmente, são apenas estimativas a partir de análises de mapas, ou ainda, são buscadas através de inúmeros sensores de aferição que acabam elevando ainda mais o investimento inicial, carecendo muitas vezes de um aferidor tecnológico que possa ser colocado no local onde se deseja instalar a usina de energia renovável, para realizar estimativas e medições precisas a respeito daquela determinada localidade, concentrando essas informações via internet, tendo o futuro investidor, apenas que conferir tais informações coletadas e tomar suas decisões baseadas nelas.

É neste momento que a tecnologia e a computação entram para servirem de provedores de informação a estes investidores, e para todos que desejam gerar

energia renovável, criando uma ferramenta que tem por finalidade servir de alternativa para os meios tradicionais de se obter estimativas da eficiência de um local na geração de energia, buscando tornar-se um meio mais preciso, confiável, atualizado e de fácil acesso, auxiliando na diminuição de riscos com tais investimentos e incentivando cada vez mais no uso de fontes renováveis, beneficiando a todos, e principalmente, o meio ambiente.

Todas as informações são coletadas através do sistema micro controlado que será responsável por medir a eficiência de uma área na geração de energia, armazenar em um cartão SD e fazer a transmissão das informações para um servidor em nuvem, utilizando Shields de GPS e GPRS/GSM (redes móveis de internet 2G/3G). Todas as informações recebidas pelo servidor web são armazenadas, tratadas e exibidas através de um sistema supervisório claro e objetivo, exibindo de diversas formas (listas, gráficos, relatórios, mapas, etc.) tais informações, servindo como uma ferramenta de acesso a informações, e buscando auxiliar investidores na tomada de decisão antes da necessidade de se fazer um investimento inicial elevado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de pesquisa é constituído por cinco capítulos, sendo que o primeiro capítulo aborda brevemente o que será exibido no trabalho de pesquisa, e sua estrutura é formada pela introdução, objetivo geral e seus objetivos específicos, e justificativa para a qual o projeto será desenvolvido.

No segundo capítulo foi abordado a fundamentação teórica, onde foi explanado acerca dos painéis solares e turbinas eólicas, seus componentes, funcionamento e aplicações, as formas de medição dos potenciais elétricos, os sensores necessários, e as tecnologias e protocolos de comunicação necessários para desenvolvimento do sistema supervisório.

O terceiro capítulo aborda os trabalhos correlatos a este trabalho de pesquisa em questão.

No quarto capítulo é explicado a respeito do trabalho desenvolvido e a metodologia que foi utilizada para tal qual. Este capítulo é concluído demonstrando os testes e resultados obtidos com o mesmo.

O quinto capítulo é composto pela conclusão do projeto, descrevendo o fechamento do trabalho, pontuando os objetivos alcançados e apontando trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a partir deste projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir estarão dispostos os pontos analisados para a execução do presente trabalho de conclusão de curso: matriz energética, energia solar, energia eólica e medições da eficiência da geração de energéticos.

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA

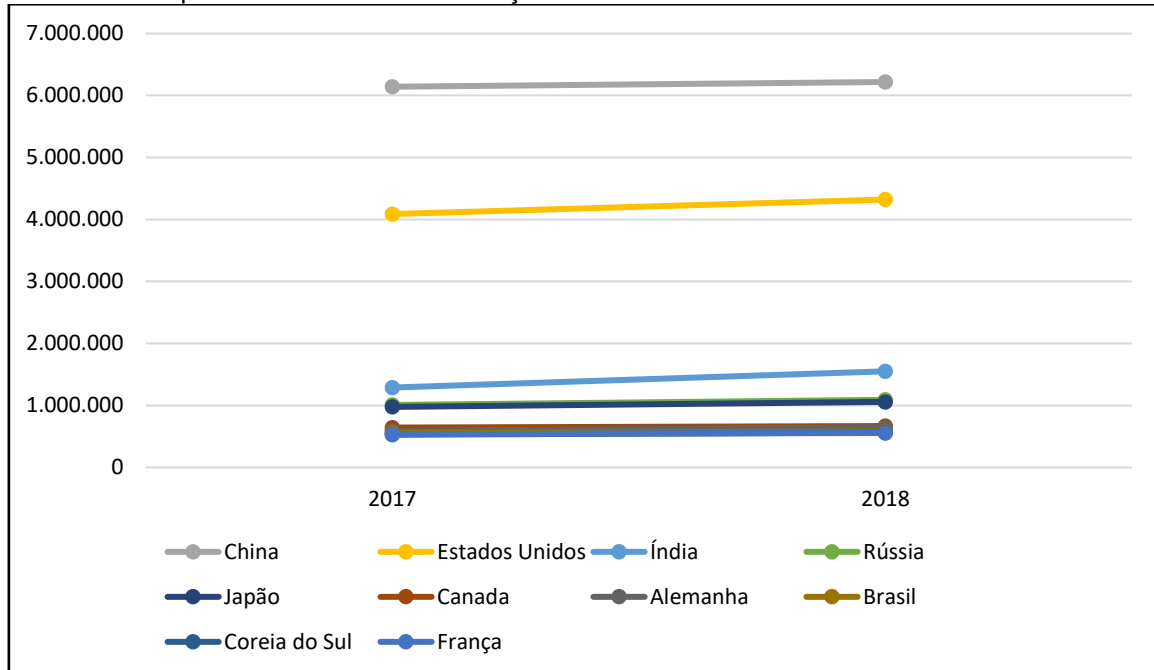
Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Governo Federal brasileiro, a matriz energética pode ser definida como o conjunto de fontes à disposição, exclusivamente, da geração de energia elétrica em um estado, país ou no mundo.

2.2.1 Matriz energética mundial

O consumo de energia elétrica pela humanidade é considerado um dos principais indicadores responsáveis pelo desenvolvimento da população mundial (TEIXEIRA, 2002).

No gráfico 1 é possível visualizar que a China libera a capacidade instalada de geração de energia elétrica no mundo, principalmente devido ao fato da China ser o país que apresenta o maior valor de consumo mundial de energia.

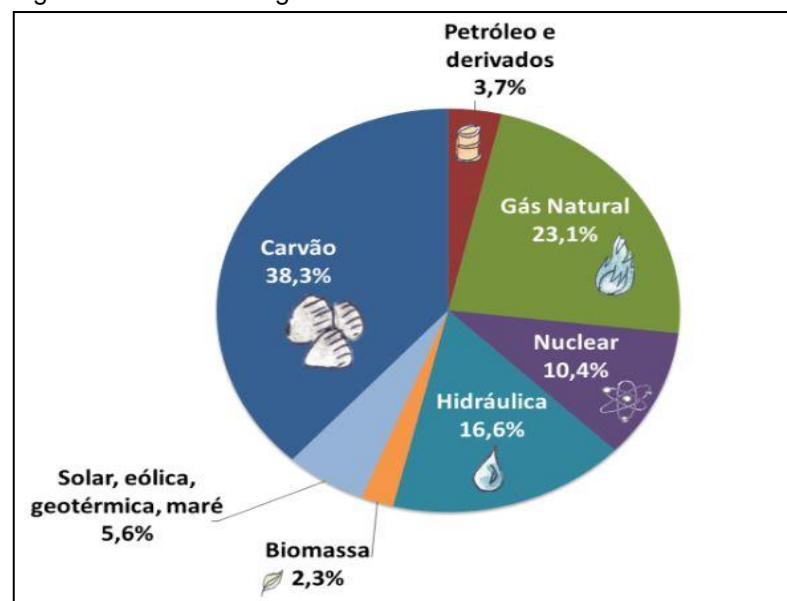
Gráfico 1 – Capacidade Instalada de Geração Elétrica: 10 Maiores Países



Fonte: EIA (2019).

Segundo EPE (2019), e conforme exposto na figura 1, a matriz energética mundial baseia-se, principalmente, nos combustíveis fósseis como carvão (38,3%), gás natural (23,1%) e petróleo (3,7%), somando mais de 65% do total. A geração por meio de fontes solares e eólicas contabilizam 5,6% da matriz energética mundial quando somadas aos meios de produção geotérmicos e das marés.

Figura 1 – Matriz Energética Mundial 2016.

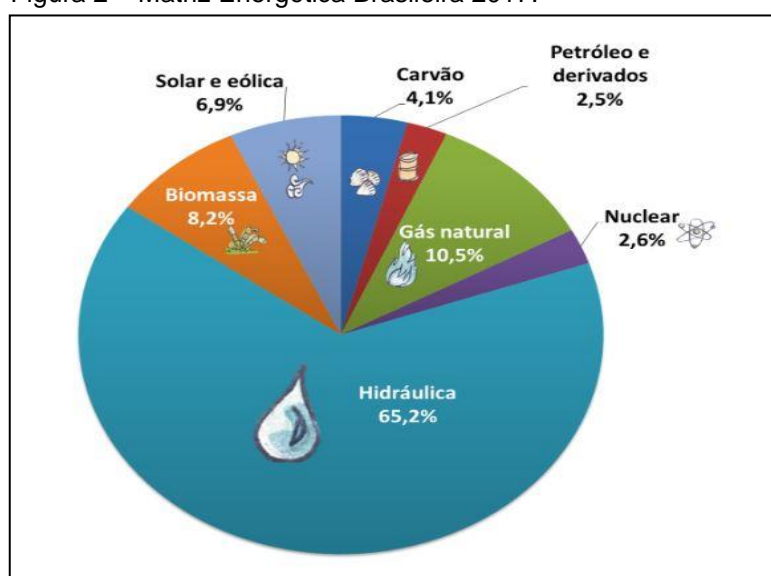


Fonte: EIA (2018 apud EPE, 2019).

2.2.2 Matriz energética brasileira

O Brasil possui uma origem principalmente renovável na sua matriz energética, com destaque para a fonte hídrica que corresponde a 65,2% da oferta nacional. Em 2018, as fontes renováveis somaram juntas 80,4% da oferta de energia para o país, porém a produção de energia pelos meios eólicos e solares se aproximaram, apenas, de 7% da matriz energética, como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Matriz Energética Brasileira 2017.



Fonte: BEN (2018).

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Nosso planeta é atingido anualmente por $1,5 \times 10^9$ TWh de energia solar, o que corresponde a 10 mil vezes o consumo mundial para o mesmo período. A radiação solar, além de ser responsável pela manutenção de vida na Terra, é uma inesgotável fonte de energia, apresentando um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia (CEPEL-CRESESB, 2014).

A energia obtida por meio de fontes solares é uma modalidade bastante utilizada em países como China, Japão, Alemanha e Estados Unidos (PORTAL SOLAR, 2017).

A redução acentuada no custo de produção ao longo dos últimos 20 anos tem se tornado peça chave na evolução e utilização de energia solar no mundo, tornando a sua aplicação viável até mesmo em locais que contam com energia elétrica convencional.

Inicialmente, entre as décadas de 1950 e 1970, a utilização de energia solar era voltada para o campo espacial, como exemplo, a energização de satélites espaciais, porém, nos primeiros anos da década de 1970, a ameaça de colapso mundial provocada pelas crises do petróleo forçou grandes empresas a focarem seus investimentos no desenvolvimento de energias alternativas, no qual a energia solar fotovoltaica foi uma das modalidades que mais se destacou e consequentemente mais recebeu investimentos. Com isso, teve-se uma redução no preço do Watt-pico (Wp), que antes era de US\$ 100,00 na década de 1950 para menos de US\$ 20,00 no final da década de 1970 (DIAS, 1999).

Desde a década de 1980 muitas aplicações foram sendo desenvolvidas com a utilização de energia solar fotovoltaica. Pessoas de locais afastados, que até então só poderiam operar equipamentos elétricos se tivessem energia convencional, passaram a ter essa possibilidade graças a utilização de fontes alternativas de energia. Assim, a comunidade técnica passou a utilizar a energia solar fotovoltaica em projetos de comunicação, eletrificação rural, bombeamento de água, sinalização marítima, dentre outros (DIAS, 1999).

Já no início da década de 1990, com a produção dos módulos fotovoltaicos sendo feita em larga escala, o preço de 1 Wp girava em torno de US\$ 6,00 (DIAS, 1999). Atualmente, no Brasil, o valor de 1 Wp gira em torno de R\$ 8,58 (AMÉRICA DO SOL, 2017).

2.2.1 Energia solar no Brasil

O Brasil possui uma alta capacidade solar, o que pode ser uma excelente opção para complementação de fontes energéticas, conforme diz o INPE no Atlas brasileiro de energia solar 2ª Edição (INPE, 2017, p.12):

O aproveitamento do recurso solar no Brasil se apresenta como uma excelente opção para complementação de fontes convencionais de energia já consolidadas como as hidroelétricas. O aproveitamento do recurso solar

favorece o controle hídrico nos reservatórios, especialmente nos períodos de menor incidência de chuvas, e possibilita planejamento e otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição da energia. Uma estratégia de aproveitamento da geração solar consorciada com a geração hidroelétrica permite antever um possível processo de aumento da renda de algumas das regiões mais pobres do país, como a Região Nordeste, com a promoção de uma economia socialmente justa e menos vulnerável aos efeitos do clima, reduzindo assim uma assimetria regional secular de inclusão social e econômica.

O Brasil tem investido no sentido de aumentar a experiência e a potência instalada em usinas fotovoltaicas, como exemplos temos a usina de Tauá no Ceará, que foi a primeira usina fotovoltaica da América latina, e a usina do Mineirão (estádio Governador Magalhães Pinto) que possui 1,42 MW de potência instalada (cerca de 6000 módulos) e é conectada à rede da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) (COPA 2014, 2013). O projeto Mineirão Solar, que pode ser visto na figura 3, foi realizado em uma parceria entre governo federal do Brasil, a distribuidora local (CEMIG) e o governo federal da Alemanha (que ofereceu crédito para financiamento dos custos de implantação do sistema). Toda a energia gerada pelos 6000 módulos instalados, é depositada diretamente na rede da CEMIG, que fornece energia para o estádio nos dias de jogos, que é quando o estádio realmente demanda energia, e o sistema de tarifação é um acordo firmado entre a administradora do estádio e a distribuidora local (CEMIG, 2013).

Figura 3 – Usina fotovoltaica do projeto Mineirão Solar.



Fonte: Copa 2014 (2013).

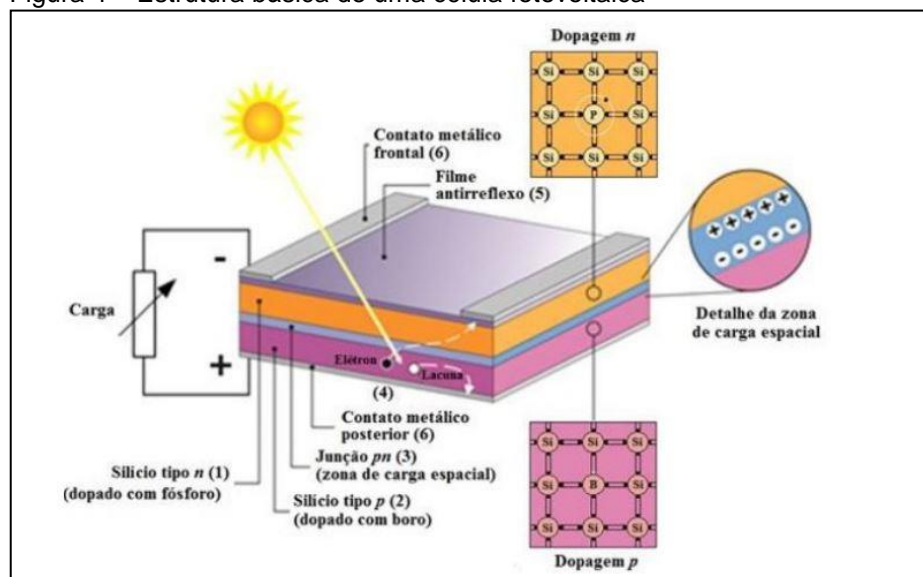
2.2.2 Efeito fotovoltaico e seus componentes

A energia solar é uma forma de energia obtida por meio do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos chamados de células fotovoltaicas. Estas células são componentes optoeletrônicos responsáveis por converter a radiação solar em eletricidade, e são constituídas, basicamente, de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado (CRESESB, 2006).

O efeito fotovoltaico é um processo físico-químico onde há a criação de tensão ou corrente elétrica num material após a sua exposição à luz (fótons) (RÜTHER, 2004). Este fenômeno ocorre nas células fotovoltaicas, que sofrem um processo chamado de “dopagem” para aumentar a eficiência da geração de energia elétrica (CASTRO, 2002). O menor elemento do sistema fotovoltaico é a célula, e um conjunto de células forma o que se chama de módulo fotovoltaico, que em conjunto ligados em série formam uma *string*, e um conjunto de *strings* ligadas em paralelo formam um arranjo. Tanto as células dentro de um módulo, quanto as *strings* dentro de um arranjo podem ser ligadas em série e/ou paralelo de forma a obter o nível de tensão e corrente desejado (CEPEL-CRESESB, 2014).

A figura 4 mostra a estrutura e o funcionamento de uma célula fotovoltaica após o processo de dopagem, onde a radiação solar incidente na célula irá gerar uma corrente elétrica contínua que, através da conexão entre os contatos metálicos frontal e posterior, irá suprir a carga.

Figura 4 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica



Fonte: CEPEL-CRESESB (2014).

2.3 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é obtida por meio da movimentação dos ventos, ou seja, é a energia cinética contida nas massas de ar da atmosfera. Aproximadamente 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida em energia cinética dos ventos, diante disso, pode-se fazer uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta. Embora este percentual pareça pequeno, ele representa uma centena de vezes a potência anual já instalada nas usinas elétricas do mundo (CRESESB, 2014).

O aproveitamento das fontes eólicas em energia elétrica consiste na conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também conhecidas como aero geradores.

A participação da geração por meio da energia eólica na geração total mundial, era praticamente zero em 1980, já em 2016 atingia 3,9%. A China lidera a participação na geração eólica mundial, com 25,1%, superando os Estados Unidos (que era o 1º colocado até 2015). Já a Dinamarca é o país que apresenta maior proporção de geração eólica em relação a sua matriz elétrica, com expressivos 42,5%, seguido de Portugal (22,1%) e Espanha (18%) (BRASIL, 2017).

A capacidade instalada de geração eólica no Brasil chegará a 25,8 GW até 2026, segundo estimativas do Ministério de Minas e Energia, respondendo a 12,5% da matriz elétrica nacional. Vale lembrar ainda que, segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o Brasil possui capacidade de produzir 143 GW através da energia eólica, considerando torres de até 50m de altura, e alterando para torres de até 120m, a previsão salta para 350 GW. No mundo a estimativa é de um potencial superior a 70.000 GW (BRASIL, 2017).

2.3.1 Turbinas eólicas

As turbinas eólicas (também conhecidas como aero geradores) são equipamentos capazes de converter a energia cinética dos ventos em energia elétrica a partir do movimento giratório de pás aerodinâmicas. Essas máquinas são comumente divididas em três partes:

- a) torre: responsável pela sustentação da turbina eólica, mantendo o rotor e a nacela à uma altura favorável para a conversão de energia;
- b) nacela: compartimento instalado no topo da torre, o qual agrega gerador elétrico, caixa multiplicadora, chassi, sistema de yaw e controle eletrônico;
- c) rotor: elemento de fixação das pás, responsáveis por transferir a energia dos ventos para o eixo conectado diretamente a ele.

De acordo com Jha (2011), para valores de potência nominal, as turbinas eólicas podem ser classificadas em três grupos distintos: pequena, intermediária e grande escala. A classificação é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das turbinas eólicas

Potência nominal (kW/h)	Porte
$P < 250$	Pequena
$250 \leq P \leq 1000$	Média
$P > 1000$	Grande

Fonte: Jha (2011).

2.4 POTENCIAIS ELÉTRICOS

2.4.1 Fotovoltaico

O potencial elétrico de um módulo fotovoltaico é influenciado diretamente pela intensidade luminosa e pela temperatura atingidas pelas células. A condição padrão convencionada para testes de um módulo é definida para a radiação de 1.000 W/m² (radiação obtida pela superfície da terra em dias claros, ao meio-dia), e 25°C de temperatura na célula (quanto maior a temperatura da célula, menos eficiente ela é) (CEPEL-CRESESB, 2014).

A relação entre a potência gerada pelo módulo fotovoltaico e a radiação incidente nele, definem a sua eficiência elétrica, e pode ser obtida através da equação:

$$\eta = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{I_c * A} * 100 \quad (1)$$

Onde:

- a) η = eficiência elétrica do módulo fotovoltaico;
- b) I_{mp} = corrente máxima de pico;

- c) V_{mp} = tensão máxima de pico;
- d) I_c = irradiância solar (W/m^2);
- e) A = área útil do módulo (m^2).

A quantidade de energia capaz de ser gerada e entregue por um sistema fotovoltaico depende além da área do módulo e da eficiência do mesmo, também da eficiência do sistema inversor de Corrente Contínua (CC), para Corrente Alternada (CA) consumida pelos equipamentos elétricos convencionais, que convencionalmente possui um valor típico de 90% da quantidade de energia gerada pelo sistema (SALAMONI et al., 2004).

A seguir serão descritas as equações responsáveis pelo dimensionamento preliminar de um sistema fotovoltaico (SALAMONI et al., 2004):

a) área útil para geração de energia fotovoltaica:

A área do módulo fotovoltaico que será responsável efetivamente pela geração de energia (desconsiderando a moldura do módulo):

$$\text{Área útil (m}^2\text{)} = \text{Área do módulo sem moldura (m}^2\text{)} \quad (2)$$

b) potência instalada do sistema fotovoltaico:

A potência instalada é a potência do módulo fotovoltaico:

$$\text{Potência instalada (kWp)} = \frac{\text{Potência do módulo (Wp)}}{1000} \quad (3)$$

c) energia gerada pelo sistema fotovoltaico:

- **energia horária:** a energia gerada em cada hora do dia é obtida através da multiplicação da radiação solar incidente no local da instalação naquela hora pela área útil do sistema. A energia que será efetivamente entregue deve também ser multiplicada pelos percentuais de eficiência do módulo fotovoltaico e do sistema inversor,

Geração horária (kWh)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Radiação solar horária (Wh/m}^2\text{)}}{1000} \times \text{Área útil (m}^2\text{)} \\
 &\times \frac{\% \text{ Eficiência do módulo}}{100} \\
 &\times \frac{\% \text{ Eficiência do inversor}}{100}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

- **energia diária:**

A energia diária se dá a partir do somatório da energia horária obtida durante um dia de geração.

$$\text{Energia diária (kWh)} = \sum \text{Energias horárias (kWh)}
 \tag{5}$$

2.4.2 Eólico

A energia cinética associada a uma coluna de ar que se desloca a uma velocidade $v(m/s)$ é a energia disponível para uma turbina eólica, atravessando uma área $A(m^2)$ do rotor da turbina e deslocando uma massa $\rho Av(kg/s)$, onde $\rho(kg/m^3)$ é a massa específica do ar. A potência disponível do vento $Pd(W)$, pode então ser calculada pela Equação (CAMPOS, 2004):

$$Pd = \frac{1}{2} \rho A v^3
 \tag{6}$$

Dessa equação, pode-se compreender que a potência obtida de uma massa de ar é proporcional à três fatores:

- a) a área de captação do vento pela turbina, ou seja, a área varrida pela hélice de raio r ($A = \pi r^2$);
- b) a densidade do ar local (ρ);

c) ao cubo da velocidade (v^3).

Importante observar que a variável de maior influência é a velocidade do vento, devido a sua característica polinomial, ou seja, qualquer alteração de v , por mais que seja mínima, fará a potência sofrer variação cúbica.

2.5 SENSORES

Sensores são dispositivos sensíveis a variações do ambiente, que fornecem dados de entrada para o sistema a partir de dados do ambiente externo ao circuito. As grandezas medidas podem ser luminosas, térmicas ou cinéticas, relacionando informações sobre alguma grandeza que necessitam ser medida, como: velocidade, corrente, temperatura, pressão, aceleração entre outros (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os sensores são divididos em analógicos e digitais, sendo classificados de acordo com a saída do seu sinal (CAPELLI, 2012).

Sensores analógicos podem assumir qualquer valor que esteja dentro de sua faixa de operação em forma de sinal elétrico proporcional à grandeza medida. Um exemplo pode ser um sensor que retorna à luminosidade do ambiente, para tal, ele retorna valores entre zero e cinco volts. Estes valores são calculados pelo microcontrolador para obter o valor exato da luminosidade medida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os sensores digitais, por sua vez, assumem apenas dois valores: zero ou um. No entanto, não existem grandezas mensuráveis que assumam apenas estes dois valores. Portanto o resultado é obtido por meio da conversão de sinais analógicos em sinais digitais para posterior utilização. Um exemplo de sensor digital é o ultrassônico, que converte o tempo de resposta de um sinal sonoro em dados digitais, calculando a distância de um objeto com base no tempo da resposta do sinal enviado (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.6 ATUADORES

Segundo BIM (2019), os sistemas automatizados, em sua maioria, dependem de forças mecânicas que interagem diretamente com a produção nas indústrias. Estas forças podem ser derivadas de motores, que por sua vez, são controlados por sistemas hidráulicos, pneumáticos ou elétricos.

2.6.1 Motores elétricos

Os motores elétricos, por meio da eletrônica, são mais fáceis de serem comandados, tendo maior facilidade de uso no quesito controle. Estes motores entram como atuadores no processo automatizado por conseguirem produzir esforços repetitivos em longo prazo e acelerar os processos de produção (QUEIROZ, 2002).

O funcionamento dos motores elétricos é baseado no princípio do eletromagnetismo de James Maxwell, que definiu que o campo magnético é resultado da variação do campo elétrico e vice-versa. O campo magnético tem direção que é definida pelo sentido da corrente que circula no condutor. Por meio das leis de Maxwell, foi possível definir a direção que o campo está, e consequentemente, foi possível aplicar estes conceitos nas máquinas elétricas rotativas, dando origem aos motores elétricos (TOLSTOY, 1986).

Segundo Carvalho (2011), os motores elétricos são divididos em categorias para diferentes aplicações, possuindo características unidas. Os principais tipos de motores são os motores de Corrente Alterada (CA) e os de Corrente Contínua (CC).

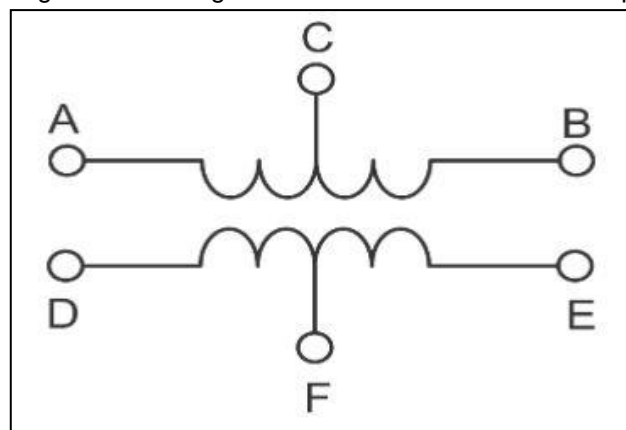
2.6.1.1 Motores de passo

Os motores de passo são motores projetados para aplicações onde há a necessidade de precisão na atuação. Estes motores podem ser aliados a sistemas eletrônicos digitais com maior facilidade que outros, assim dando origem a um controle mais simples. Como exemplo, os motores de impressoras comuns, nelas existem motores para alinhar o papel e motores para posicionar a cabeça de impressão em locais específicos (FITZGERALD, 2006).

Normalmente os motores unipolares de duas a quatro bobinas (figura 5) são comumente utilizados nas indústrias, pois estes possuem uma derivação central

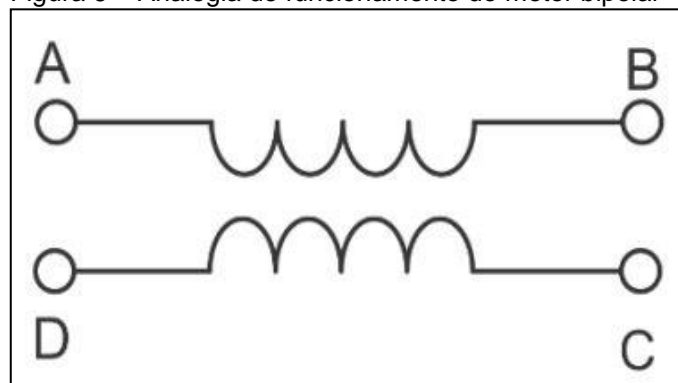
nos enrolamentos das bobinas (demonstradas como C e F na figura 5), viabilizando a possibilidade de inverter o campo magnético sem a necessidade de inverter o sentido da corrente, ou seja, aplicando uma corrente elétrica de C para B, o fluxo magnético será para a direita, e aplicando uma corrente de C para A, o fluxo será para a esquerda, sem que haja inversão entre A e B. Outro motor é o bipolar, representado na figura 6, que contém duas bobinas internas e tem como principal vantagem o torque superior aos motores unipolares, além de possuir menor tamanho em relação a proporção do motor, porém exige um controle mais sofisticado, necessitando de inversão de corrente a cada passo executado, e este é um processo eletronicamente complexo (QUEIROZ, 2002).

Figura 5 – Analogia de funcionamento do motor unipolar



Fonte: Do autor.

Figura 6 – Analogia de funcionamento do motor bipolar



Fonte: Do autor.

De acordo com Carvalho (2011) e Queiroz (2002), existem três tipos de motores de passo: motores de passo de relutância variável, ímã permanente e motores de passo híbridos.

Ainda segundo Carvalho (2011), é possível citar três aspectos comuns entre estes tipos de motores:

- a) o motor consegue girar em baixas velocidades ainda que este possua carga ligada ao eixo;
- b) existe proporção entre a velocidade de giro e a frequência de pulsos lógicos aplicados ao motor;
- c) o passo é um giro angular que o motor pode deslocar determinado pelo fabricante e determina a precisão dele.

2.6.1.2 Servos motores

Servos motores são utilizados quando se deseja movimentar algo de forma controlada e precisa, na maioria das vezes, para controlar movimentos angulares, entre 0° e 180°. Tem como principal característica a sua capacidade de mover o braço até uma determinada posição e conseguir mantê-lo nessa posição mesmo sofrendo uma força de outra direção. Eles são compostos por um circuito de controle, motor, um conjunto de engrenagens, um potenciômetro e três condutores exteriores de ligação (BAJERSKI; ABELLA, 2010).

2.7 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador é um componente eletrônico de pequeno porte, que integra uma inteligência programável. Ele é definido como pequeno/micro pois, em uma única pastilha de silício encapsulada, é capaz de possuir diversos componentes eletrônicos necessários já integrador (ANTONIO, 2006).

Ainda segundo Antonio (2006), o microcontrolador é utilizado em controles de processos lógicos, ou seja, ele é responsável pelo controle de periféricos como LEDs, sensores, botões. Os controles lógicos recebem este nome pois toda sua operação baseia-se nas ações lógicas executadas, dependendo dos dados de entrada e saída de seus periféricos.

Os microcontroladores possuem cinco elementos, também conhecidos como unidades fundamentais, que são: a unidade lógica e aritmética, a unidade de

memória, a unidade de controle, a unidade de entrada e a unidade de saída (TOCCI; WIDMER, 2003).

A Unidade Lógica e Aritmética (ULA), é a área responsável por executar operações lógicas e aritméticas entre informações binárias, gerando uma nova informação de saída. É responsabilidade da unidade de controle definir os tipos de operações realizadas e os dados utilizados podem ter origem na unidade de memória ou na unidade de entrada (MARINHO; MARINHO, 2001).

A Unidade de Memória, é responsável por armazenar palavras (grupos de dígitos binários) que podem representar instruções que devem ser executadas e/ou dados que serão manipulados. O armazenamento nesta área é controlado pela unidade de controle por meio de posições de memória (TOCCI; WIDMER, 2003).

A Unidade de Entrada é composta de todos os dispositivos usados para obter informações e dados externos que serão posteriormente processados. A unidade de controle determina se os dados serão posteriormente enviados para a ULA ou para a unidade de memória (MARINHO; MARINHO, 2001).

A Unidade de Saída é composta por componentes que transmitem dados do microcontrolador para outros dispositivos. Estes componentes são controlados pela unidade de controle e recebem informações que serão transmitidas para a memória ou ULA. Os dispositivos de saída mais comuns são LEDs, telas, impressoras ou outros microcontroladores (TOCCI; WIDMER, 2003).

De acordo com Tocci e Widmer (2003), a Unidade de Controle tem como função executa funções de busca e execução, e controlar todas as operações entre as outras unidades, por meio de sinais de controle e temporização.

Para manipular um microcontrolador se faz necessário definir quais instruções ele deve executar e como ele fará isso, e para isso é necessário que seja detalhada uma maneira e estrutura, de modo que eles as reconheçam. Para isso, é necessário escrever um programa em uma linguagem determinada (ANTONIO, 2006).

Antônio (2006) afirma que um programa é um conjunto de instruções em sequência, em que cada uma identificará precisamente qual deve ser a função executada pelo controlador. O compilador converte a linguagem de alto nível escrita e converte para uma linguagem de baixo nível, entendida pelo microcontrolador, para posteriormente gravá-la no chip.

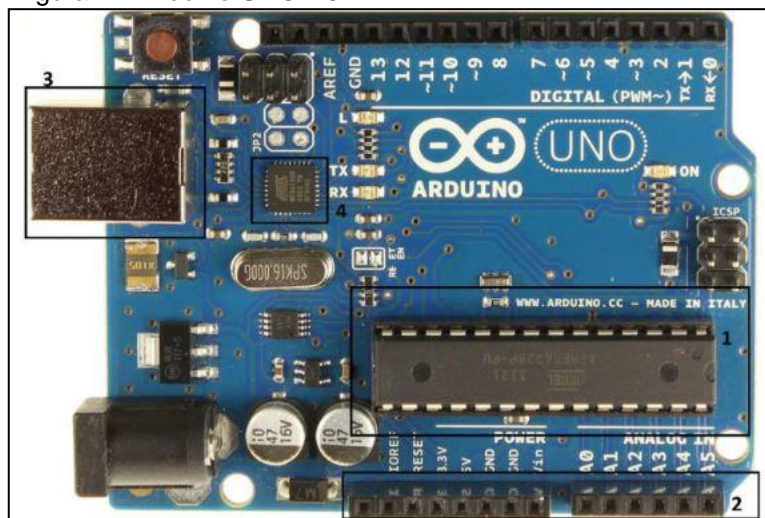
2.7.1 Arduino

O Arduino é o que chamamos de plataforma embarcada, ou seja, é um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio do hardware e do software (MCROBERTS, 2011). Em termos gerais, o Arduino é um minicomputador passível de programar suas entradas e saídas para controle de outros componentes conectados a ele. Concebido em um projeto aberto, que engloba ferramentas de programação usadas para programá-lo e a própria placa. Possui uma grande comunidade de construtores, desenvolvedores e até apreciadores dispostos a compartilhar seu conhecimento e experiências na internet a cerca dele (MONK, 2010, tradução nossa).

Ainda de acordo com Monk (2010), já que se trata de um projeto aberto, qualquer indivíduo pode acessar seus esquemas, criar clones e vende-los. Cada placa oficial tem um preço médio de 30 dólares, enquanto clones feitos a partir do projeto aberto custam menos de 20 dólares. O nome Arduino é reservado para o projeto original, no entanto, muitos de seus clones herdaram o nome “duino” no final de seus nomes, como exemplos temos o Freeduino e o DFRduino.

A placa do Arduino é composta por um microprocessador Atmel AVR, visto na figura 7 sinalizado no item 1, um oscilador ou cristal, um regulador linear de 5 volts e, na grande maioria dos modelos disponíveis, encontra-se presente uma porta USB, vista no item 3 da figura 7, que é usada para recuperações de dados e para upload de código programado (MCROBERTS, 2011). No item 4 da figura 7 temos o chip FTDI, que converte a comunicação serial em USB, possibilitando a gravação dos softwares por qualquer computador que contenha uma porta dessas. Pela facilidade de programação via porta USB, dentre outros motivos, o Arduino é um projeto tão conhecido e utilizado em todo o mundo.

Figura 7 – Arduino UNO R3



Fonte: Adaptada de Arduino (2019).

Segundo McRoberts (2011), é possível realizar expansões no Arduino utilizando *shields*, que são outras placas contendo outros dispositivos, como por exemplo, um *shield Ethernet*, receptores de sinal GPS, módulos Bluetooth, entre outros. Estas placas são integradas ao Arduino utilizando seus pinos de entrada ou saída para obter tais funcionalidades adicionais (pinos destacados no item 2 da figura 7).

A alimentação do Arduino se dá por meio de qualquer tensão entre 7 e 12 volts, logo, qualquer pequena bateria de 9 volts, por exemplo, já é capaz de funcionar bem para projetos portáteis. Normalmente, durante a fase de desenvolvimento de projetos, ele é alimentado pela USB, mas quando pronto, essa alimentação passa a ser feita de maneira independente, então uma fonte de energia externa, adaptador ou bateria, é conectada a placa por meio do seu socket (MONK, 2010, tradução nossa).

Para programar as funções desejadas no Arduino, utiliza-se de sua linguagem de programação e de sua *Integrated Development Environment* (IDE), disponível para ambientes Windows, Linux e Mac de forma gratuita. A linguagem de programação reconhecida por ele possui como base o C, e foi desenvolvida pela primeira vez no instituto de pesquisa *Bell Laboratories* em 1970 para ser usado no sistema operacional UNIX (EVANS, 2011).

Através da IDE é possível escrever o código na linguagem do Arduino e fazer o upload para a placa, está por sua vez, executará o que foi programado interagindo

com o que estiver conectado a ele. Estes programas são conhecidos como *sketches* (MCROBERTS, 2011).

Utilizando as tecnologias existentes é possível comunicar vários dispositivos diferentes através de um meio de comunicação para realizar uma integração entre tais dispositivos.

2.8 COMUNICAÇÃO DE DADOS

A comunicação de dados é o processo de troca de informações entre dois dispositivos, não necessariamente iguais, através de algum meio de comunicação. Para que ela exista, os dispositivos devem ser parte de um sistema feito com a junção de hardware e software (FOROUZAN, 2006).

Ainda segundo Forouzan (2006), um sistema depende de três características básicas para garantir um bom funcionamento e eficiência. São elas:

- a) entrega: somente o dispositivo de destino deve receber os dados e os mesmos devem estar corretos;
- b) confiabilidade: a entrega dos dados deve ser garantida pelo sistema;
- c) tempo de atraso: o sistema deve ser o mais eficiente possível, tendo também um tempo limite para o envio dos dados.

A comunicação pode ser classificada de três maneiras de acordo com o fluxo de dados a serem trafegados (TANENBAUM; WETHERALL, 2011):

- a) *simplex*: comunicação unidirecional, sendo um dispositivo capaz apenas de transmitir e outro capaz apenas de receber. Exemplo: Rádios;
- b) *half-duplex*: os dois dispositivos são capazes de enviar e receber dados, mas nunca ao mesmo tempo. Quando um deles está transmitindo o outro está recebendo e vice-versa. Exemplo: Walkie talkies;
- c) *full-duplex*: os dispositivos podem enviar e receber simultaneamente, compartilhando a capacidade do meio de transmissão. Exemplo: Celulares.

Ainda segundo Tanenbaum e Wetherall (2011), para montar um sistema de comunicação básico, é necessário de no mínimo cinco componentes:

- a) mensagem: dados em um formato protocolado que serão transmitidos;

- b) transmissor: dispositivo usado para enviar a mensagem;
- c) receptor: dispositivo usado para receber a mensagem;
- d) meio: caminho físico por onde é enviada a mensagem, do transmissor para o receptor;
- e) protocolo: é um conjunto de regras que padroniza o envio e o recebimento das informações.

2.8.1 Protocolos de comunicação

Os protocolos de comunicação são definidos como um conjunto de regras, convenções, padrões e procedimentos a fim de padronizar e realizar comunicação entre diferentes dispositivos.

Castelucci (2011) considera fundamental a existência de um padrão de comunicação entre dispositivos conectados a uma rede. Diferentes protocolos foram criados com o passar do tempo para diferentes fins, sendo cada um deles específico para solucionar um problema a que se propõe.

2.8.1.1 TCP

O protocolo *Transmission Control Protocol* (TCP) é o mais utilizado na internet, pois verifica se os dados são enviados de forma correta, na ordem correta e sem erros (STALLINGS; LAWRIE, 2013).

Segundo Gugelmin (2014), o funcionamento desse protocolo segue o modelo cliente-servidor. O protocolo se inicia pela requisição do cliente ao servidor, que faz a requisição dos dados, e então o servidor retorna-os para o cliente, quando o processo é concluído, o cliente faz uma checagem de erros nos pacotes por meio de um sistema de numeração adotado para detectar fragmentos corrompidos, omissos ou desordenados. Caso a informação esteja correta, o cliente confirma que os dados foram transferidos com sucesso, caso contrário, o servidor enviará novamente os dados até que o cliente conforme que os dados estão corretos.

Se faz necessário um acordo entre as duas partes para que seja iniciada uma conexão, esse acordo é conhecido como *handshake* de três vias, que verifica se

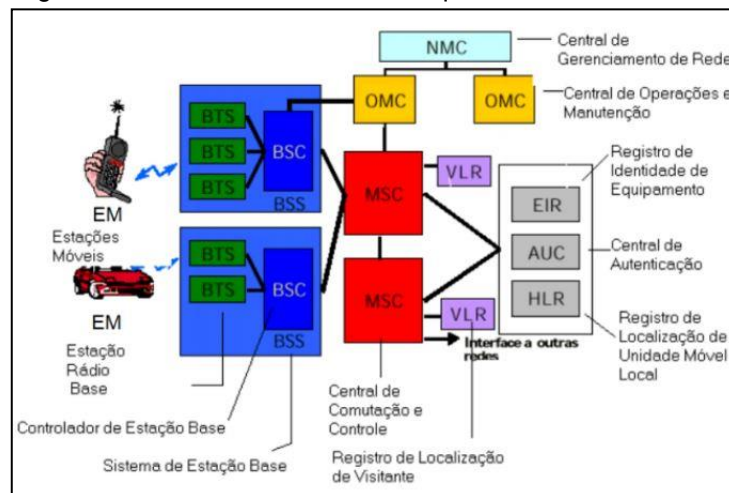
ambas as partes estão prontas para o início da transmissão. Após a verificação é possível que os hosts transfiram blocos de dados entre si, estes blocos de tamanho variável são organizados por informações (STALLINGS; LAWRIE, 2013).

2.8.1.2 GSM

O GSM é um padrão digital de segunda geração (2G), desenvolvido na Europa, com o intuito de unificar os diversos e incompatíveis padrões analógicos utilizados nos países europeus. Ele é hoje o padrão com maior número de usuários do mundo, utilizava inicialmente a faixa de 900 MHz com canais de 200 kHz, e posteriormente passou a usar uma versão adaptada para faixas de 1800 e 1900 MHz (TUDE, 2003).

O padrão GSM possui a estrutura básica dos sistemas de telefonia móvel, oferecendo as mesmas funcionalidades básicas do restante dos sistemas celulares associadas a mobilidade como *roaming* e *handover* entre células, como representado na figura 8.

Figura 8 – Elementos básicos da arquitetura GSM



Fonte: TUDE (2003).

A estrutura flexível dos canais físicos do GSM, bem como o protocolo robusto utilizado, facilitou a introdução de serviços como:

- serviço de mensagem SMS;
- serviço de identificador;

- c) serviço de localização (GPS);
- d) serviço de dados por pacotes.

2.8.1.3 GPRS

O padrão digital de segunda geração (2G) teve como objetivo oferecer telefonia para serviços de voz, no entanto, não tinha a finalidade do acesso à Internet. Já que a Internet trafega dados através de pacotes, pelo protocolo IP, a rede móvel precisou ser adaptada para que os dados fossem organizados em pacotes.

Para resolver o problema de dados organizados em pacotes surgiu o GPRS, cuja finalidade é permitir o tráfego de dados através de pacotes afim de integrar a rede de telefonia celular com a Internet (NASCIMENTO, 2004).

Na chegada desta tecnologia ao GSM, o sistema passou a ser chamado de 2.5G, e passou a oferecer um aumento da taxa de transmissão de dados. A velocidade passou de 9,6 kbps para algo próximo dos 171,2 kbps. Os usuários deixaram de pagar pelo tempo conectado à rede e passaram a pagar apenas pela quantidade de dados transferidos (SVERZUT, 2005). Diante disso, diversos outros serviços puderam ser oferecidos, tais como:

- a) *chat*: podendo-se utilizar salas de bate-papo normalmente, sem nenhuma restrição;
- b) *web browsing*: pode-se navegar por páginas HTML9 e ter acesso a todo conteúdo, como imagens, entre outros;
- c) *wap*: tecnologia complementar, que oferece downloads mais rápidos;
- d) *e-mail*: as mensagens passaram a ser recebidas diretamente, sem necessidade de verificar no servidor.

O GPRS, embora não seja a mais recente e moderna tecnologia, é a que, atualmente, oferece melhor desempenho quando se trata de confiabilidade, qualidade de comunicação e cobertura, com um custo relativamente baixo para projetos de automação, o que traz uma grande vantagem que é a conexão com qualquer ponto do mundo a partir de diferentes equipamentos. Tal versatilidade é primordial em qualquer sistema de monitoramento remoto de dados (TATEOKI et al., 2007).

2.8.1.4 MQTT

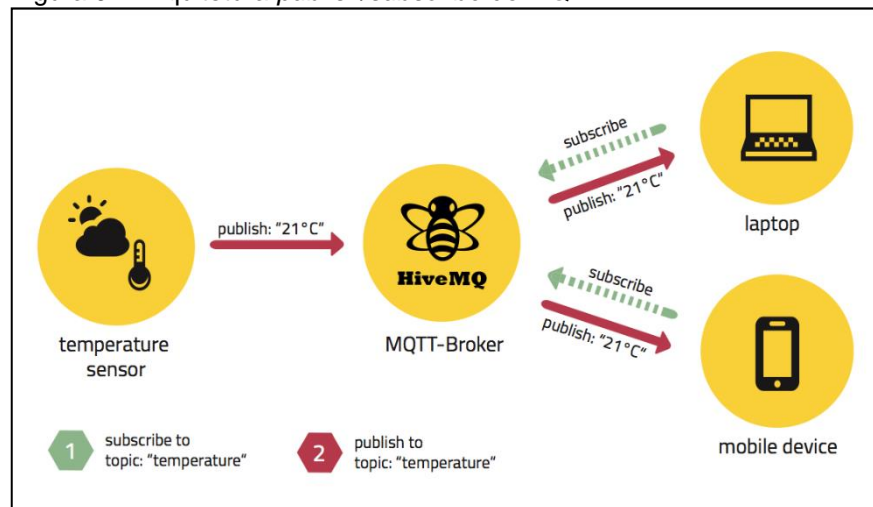
O *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) foi criado em 1999 por Andy Stanfor-Clark (IBM) e Arlen Nipper (Arcom, agora Cirrus Link) com o objetivo de ser um protocolo de baixo consumo de bateria e largura de banda mínima para se conectar e realizar a comunicação entre equipamentos petrolíferos e satélites (HIVEMQ, 2019).

Ainda segundo HiveMQ (2019), é um protocolo que utiliza agentes de mensagens, baseando-se nos métodos *publish/subscribe*, que é um padrão de mensagens publicadas em classes sem o conhecimento de quais assinantes existem, e esses assinantes por sua vez requisitam as mensagens de uma ou mais classes conforme necessitam, sem conhecimento de quais editores existem. Existem três principais agentes envolvidos na arquitetura *publish/subscribe* do MQTT:

- a) editor (*publish*): tem como função conectar-se ao corretor de mensagens e publicar o conteúdo;
- b) assinante (*subscribe*): tem como função conectar-se ao mesmo agente de mensagens e se inscrever no conteúdo que lhe interessa;
- c) agente de mensagens (*message broker*): funciona, basicamente, como um servidor para retransmitir mensagens entre clientes garantindo a retransmissão de conteúdos publicados aos assinantes interessados.

Na figura 9 é possível observar o que foi supracitado e entender como funciona a arquitetura *publish/subscribe* do MQTT.

Figura 9 – Arquitetura *publish/subscribe* do MQTT



Fonte: HIVEMQ (2019).

2.8.2 Cartão de memória SD

A sigla SD vem do termo em inglês “*Secure Digital*”, por tanto, o cartão de memória SD pode ser resumido como uma forma segura e acessível de armazenar grande quantidade de informação em um pequeno espaço.

Estes cartões utilizam memória *flash*, ou seja, o armazenamento sólido, uma técnica de gravação resistente a impactos, veloz na transferência de dados e com maior durabilidade quando comparada ao processo de gravação de informações mecânico (discos rígidos). A informação fica armazenada no chip sem que seja necessária a utilização de uma bateria ou outras fontes de energia.

2.8.2.1 Leitura e gravação

O procedimento de leitura e gravação é bastante simples. O sistema tem dois transistores que são separados por uma camada fina de óxido de silício. Um dos lados funciona como uma porta de controle, responsável por ativar as células da memória e fazer a leitura dos dados. Já o outro lado funciona como uma espécie de porta flutuante, que armazena as informações.

A corrente elétrica é transferida de lado para o outro e uma tensão aplicada na porta de controle atrai os elétrons para a porta flutuante. Tal processo é bastante

durável: estima-se que um dispositivo possa ser regravado pelo menos 100 mil vezes (NORBURY, 2016).

2.8.2.2 Armazenamento

Existem três tipos de definição entre os cartões SD: o modelo-padrão, conhecido como SD Standard, que começa em 128MB e alcança até 2GB de armazenamento. Temos também o *Secure Digital High Capacity* (SDHC) que consegue armazenar de 4GB até 32GB de conteúdo, e por fim, temos o *Secure Digital Extended Capacity* (SDXC) que armazena de 64GB até 2TB de informações (NORBURY, 2016).

3 TRABALHOS CORRELATOS

Para a realização deste trabalho foram pesquisados alguns trabalhos semelhantes, adquirindo assim um maior embasamento do que já foi realizado.

3.1 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR PARA PAINEL FOTOVOLTAICO

Trabalho de Graduação desenvolvido por Pâmela Cristini Silva Nicolau apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, e defendido em fevereiro de 2018. O presente projeto consiste no desenvolvimento de um protótipo de sistema de rastreamento solar para painéis fotovoltaicos. Possui como objetivo a realização de testes e demonstração do funcionamento do sistema a fim de aumentar a incidência solar captada pelo painel fotovoltaico, e com isso permitir uma melhora na sua eficiência. O projeto foi desenvolvido usando sensores, como o de luminosidade (LDR), uma placa Arduino modelo Uno e um motor elétrico DC com seu circuito de acionamento.

3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO CAMPUS DA UTFPR DE GUARAPUAVA

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido por Altieres Schincariol Netto apresentado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba, e defendido em novembro de 2017. O presente trabalho consiste na realização de um estudo de viabilidade técnica para a instalação de um aerogerador voltado a microgeração de energia elétrica, disponibilizando os dados de geração eólica por meio de uma plataforma online. O projeto foi desenvolvido utilizando cálculos de eficiência, métodos para coleta e transmissão de dados online, cálculos de Payback e a transmissão dos dados realizada através de um microprocessador NodeMCU utilizando MQTT com a linguagem de programação Node.js.

3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E UM PROGRAMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido por Alexandre Luiz Ribeiro e apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá, Engenharia de Automação Industrial, e defendido em julho de 2017. O presente projeto consiste no monitoramento e elaboração de um sistema de aquisição de dados de geração de energia fotovoltaica e também a elaboração de um programa supervisório. Este projeto possui como objetivo principal o desenvolvimento de uma aplicação utilizando ferramentas de uso livre e de fácil acesso, como a plataforma micro controlada Arduino e o software para desenvolvimento de aplicativos de monitoramento ScadaBR e, possibilitar a comparação da eficiência energética entre um sistema de geração de energia fotovoltaica utilizando módulos de Silício Monocristalino e outro utilizando módulos de Silício Policristalino.

3.4 SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE GERADOR EÓLICO

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido por Edsel Paulo Rockel e apresentado no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Anhanguera Uniderp, e defendido em 13 de novembro de 2013. O presente trabalho desenvolve um sistema eletrônico para controle de carga de gerador eólico, permitindo que ele carregue uma bateria automotiva. O regime de carga é monitorado através de um amperímetro e voltímetro, mostrando em um visor LCD e há também um cronometro que grava o tempo de carga em que a bateria foi submetida durante o período que ela ficou conectada ao gerador eólico.

3.5 APROVEITAMENTO INTELIGENTE DE ENERGIA SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido por Philip Canabarro Blocker e apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense, defendido em 11 de julho de 2018. O presente projeto consiste no desenvolvimento de um sistema autônomo de bombeamento hidráulico utilizando

energia solar fotovoltaica como fonte elétrica. Para a elaboração foram utilizados diversos componentes, como: microcontrolador Arduino, painel solar fotovoltaicos, bateria, controlador de carga, bomba hidráulica de corrente contínua, sensores de nível, tensão, corrente e fluxo e um relé para controle automatizado da bomba.

4 DESENVOLVIMENTO DA ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO

O trabalho consistiu na criação de um protótipo de estação para aquisição de dados de energias renováveis, possibilitando a medição da eficiência na geração elétrica de uma determinada localidade, juntamente com a criação de um sistema supervisorio que será responsável por armazenar, interpretar e exibir as leituras de dados obtidas pelo protótipo, disponibilizando tais informações de forma a permitir o acesso e acompanhamento pelos usuários via internet.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

Para a montagem do projeto, foi utilizado um microcontrolador ATmega1280, disponível em Arduinos modelos Mega, pois o mesmo tem maior capacidade de processamento e memória quando comparado a microcontroladores mais populares, como o ATmega328 (disponível no Arduino Uno). A programação do Arduino foi realizada na IDE nativa do mesmo, que se encontra disponível no site¹ dos criadores do projeto.

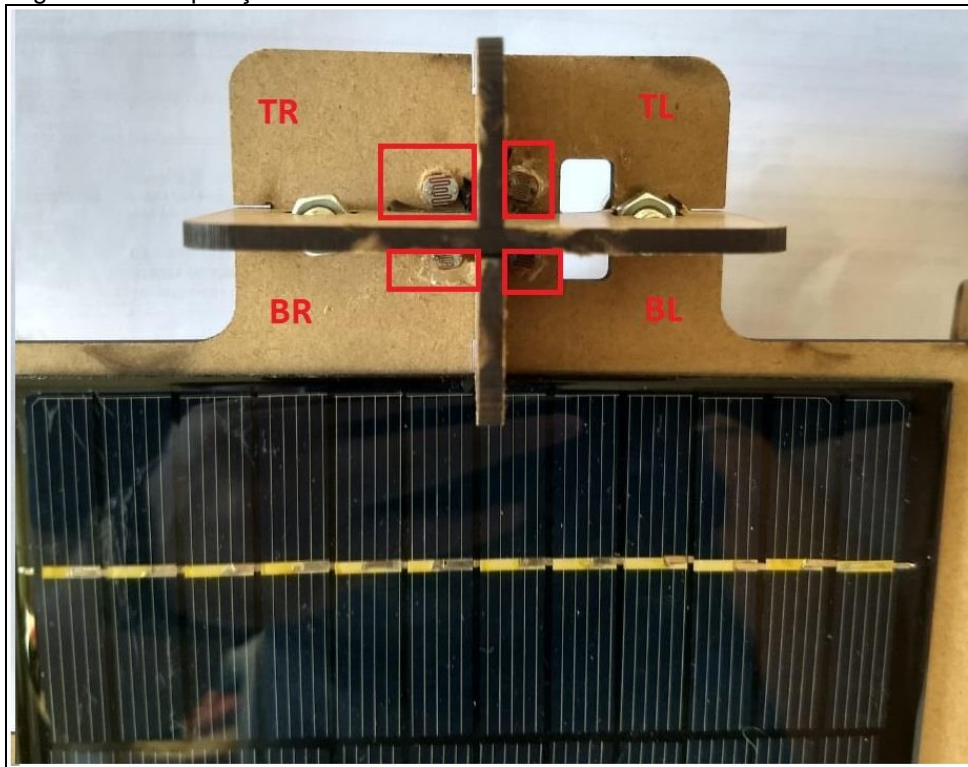
4.1.1 Rastreador solar biaxial

O projeto teve início com o desenvolvimento do rastreador solar biaxial, conhecido também como rastreador ativo, para o painel fotovoltaico. Isto significa que foram utilizados sensores para encontrar a fonte de luz mais brilhante, fazendo com que a face do painel sempre fique virada para esta fonte de luz.

Para tal, foram utilizados quatro fotoresistores ou resistores dependentes de luz, do inglês *Light Dependent Resistor* (LDR), dispostos em um formato semelhante a um quadrado e nomeados conforme ilustrado na figura 10.

¹ Site dos criadores do projeto: <<https://arduino.cc>>. Onde pode ser feito o download gratuito da IDE de desenvolvimento, e também de bibliotecas criadas e disponibilizadas pela comunidade.

Figura 10 – Disposição dos fotoresistores – LDRs



Fonte: Do autor.

A variação de luminosidade ocasiona a variação das fotoresistências e a partir disto definimos o movimento dos dois motores contidos no projeto, um movimenta o painel na horizontal e o outro movimenta na vertical, atendendo ao eixo cardeal. Para que o movimento ocorra, os fotoresistores fornecem uma tensão variável de entrada para o microcontrolador, e fica a cargo deste, definir se o painel será movimentado na vertical e/ou horizontal.

Para tal definição, o microcontrolador converte os valores analógicos enviados pelos LDRs em valores digitais, e agrupa-os a fim de obter a diferença entre a irradiância recebida pelos LDRs superiores e inferiores, o mesmo ocorrendo para os LDRs do lado direito e do lado esquerdo. Estas variáveis são utilizadas pelo microcontrolador para a realização do controle de movimentos em torno dos eixos verticais e horizontais (também conhecidos como azimute e elevação, respectivamente).

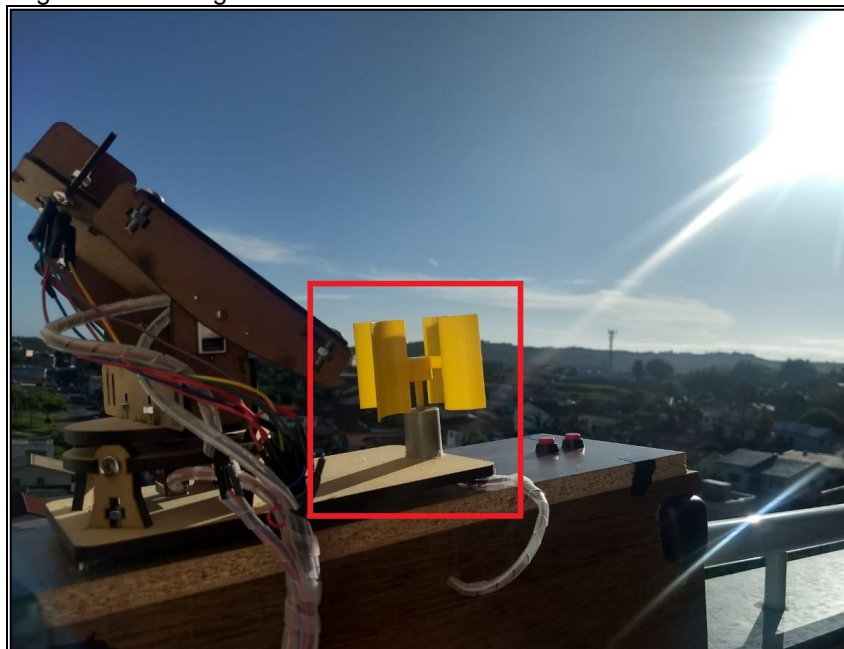
Conforme pode-se observar na figura 10, os LDRs foram separados por divisórias de madeira, deixando a localização da fonte de luz mais precisa, já que evita reflexos de luz que possam ocasionar falhas e medições errôneas.

O painel solar utilizado no projeto é policristalino, com tensão máxima de 12V e potência máxima de 2W, segundo especificações do fornecedor.

4.1.2 Aerogerador de eixo vertical

A fim de atender realizar testes, foi adicionado um aerogerador de eixo vertical ao protótipo, capaz de atender as variações de direção do vento, já que o mesmo possui ranhuras em diversas direções, conforme observado na figura 11, o que faz com que seja movimentado mais facilmente pelo vento, sem depender de sua direção.

Figura 11 – Aerogerador de eixo vertical



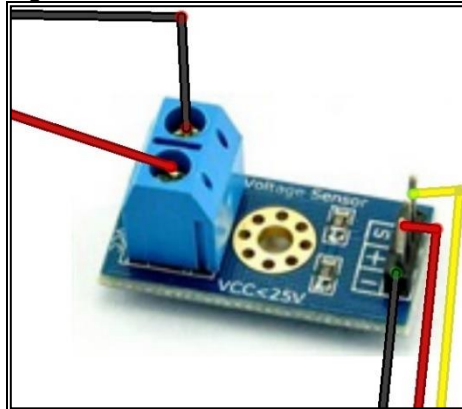
Fonte: Do autor.

O motor movimentado pelas pás do aerogerador tem tensão máxima de saída de 5.5V e corrente máxima de 1A, segundo especificações do fornecedor.

4.1.3 Sensores de tensão

O painel solar e o aerogerador foram ligados a dois sensores de tensão, similares ao da figura 12, os quais serão responsáveis por efetuar tais medições, que posteriormente serão obtidas pelo microcontrolador.

Figura 12 – Sensor de tensão



Fonte: Do autor.

Quando o microcontrolador obtém a tensão medida pelos sensores, também é calculado o percentual de eficiência do dispositivo mensurado. Para definirmos o percentual de eficiência de cada dispositivo, pegamos a tensão de pico informada pelo fabricante de cada um deles, no caso do painel solar 12 V, e no caso do aerogerador 5.5 V, e aplicamos a uma regra de três simples para descobrirmos quantos por cento a tensão atual medida corresponde da tensão de pico, conforme equação exibida a seguir e implementada no código fonte disponível na figura 13.

$$Eficiência(\%) = \frac{TensãoMedida (V) * 100}{TensãoNominal (V)}$$

Figura 13 – Cálculo do percentual de eficiência

```
float getEficienciaSolar(float tensao) {
    float tensaoNomPainel = 12.0; //Conforme especificações do vendedor/fabricante

    float percentual = (tensao*100)/tensaoNomPainel;

    return percentual;
}

float getEficienciaEolico(float tensao) {
    float tensaoNomAeroGer = 5.5; //Conforme especificações do vendedor/fabricante

    float percentual = (tensao*100)/tensaoNomAeroGer;

    return percentual;
}
```

Fonte: Do autor.

O percentual de eficiência é interessante para mostrar ao usuário o quanto um painel solar e/ou um aerogerador tende a ser eficiente naquela localidade. Por exemplo, caso o cálculo esteja apontando que o percentual de eficiência é de 50% para o painel solar, conclui-se que um painel solar naquele mesmo local, irá converter a energia solar capitada em cerca de 50% da capacidade estipulada pelo fabricante.

O sensor de tensão utilizado opera através de potencial de redução de fator 5, ou seja, ele suporta um valor de tensão DC até cinco vezes maior que o VCC da porta analógica. Neste projeto ele foi alimentado com 5V, por tanto $5V * 5$, da a capacidade de suportar até 25V, lembrando que o painel solar deste projeto opera com tensão de pico de 12V, e o aerogerador com 5.5V.

4.1.4 Módulo GPS e GSM

O módulo escolhido para a comunicação GPS e GSM foi o SIM808 da SIMCom na sua versão 3.2.4, pois possui interface serial USB-TTL compatível com microcontroladores de 2,85V, 3,3V e 5V, simplificando a conexão com o nosso microcontrolador.

Para a utilização do módulo, é preciso inserir um cartão SIM desbloqueado, em funcionamento e, com pacote de dados disponível, caso utilize o GSM.

Um problema encontrado durante a utilização deste módulo foi o fato dele precisar de uma inicialização manual pressionando o botão *power* localizado na lateral

da placa por 3 segundos após a ligação na alimentação externa. Para contornar este problema, foi encontrada a biblioteca SIM808 disponibilizada por Bertrand Lamsle (blemasle) no Github, que utilizada, além dos pinos padrões RX e TX da placa, os pinos STATUS, PWR e RST, responsáveis por verificar o funcionamento da placa, ligá-la e reiniciá-la, respectivamente. Estes pinos por padrão não vieram soldados na placa, porém foram confeccionados após consulta ao *datasheet* da mesma.

Utilizando esta biblioteca, também é possível obter de forma simplificada as informações da localização do protótipo através do GPS, conforme trecho de código da figura 14, que retorna a latitude e longitude. Através do GPS também podemos, utilizando a biblioteca, obter a data e hora em formato UTC, que é armazenada juntamente com as medições de tensão e eficiência no cartão de memória micro SD.

Figura 14 – Código de comunicação com o GPS

```
float getLatitudeGPS() {
    Serial.println("Habilitando GPS...");
    sim808.powerOnOffGps(true);

    SIM808GpsStatus gpsStatus = SIM808GpsStatus::Fix;
    do {
        gpsStatus = sim808.getGpsStatus(position, POSITION_SIZE);

        if (gpsStatus == SIM808GpsStatus::Fix) {
            delay(NO_FIX_GPS_DELAY);
        }
    } while (gpsStatus == SIM808GpsStatus::Fix);

    float latitude = 0.0;

    sim808.getGpsField(position, SIM808GpsField::Latitude, &latitude);
    sim808.powerOnOffGps(false);

    Serial.print("Latitude: ");
    Serial.println(latitude);

    return latitude;
}
```

Fonte: Do autor.

A comunicação com o servidor para transmissão dos dados é feita através do GSM (rede 2G/3G), que também é feita utilizando a biblioteca SIM808, conforme trecho de código da figura 15. A partir do retorno da requisição POST feita para transmissão dos dados, definimos que se não houver sucesso na transmissão, os

dados são armazenados no cartão micro SD, juntamente com a localização, data e hora da tentativa de transmissão, pois assim, os dados do cartão não sofreram modificações ao serem importados manualmente para a aplicação, através do utilitário de importação.

Figura 15 – Código de envio da requisição POST via GSM/GPRS

```

1 bool sendPostTelemetry(int tipo, DynamicJsonDocument json) {
2     SIM808NetworkRegistrationState netStatus = sim808.getNetworkRegistrationStatus();
3     SIM808SignalQualityReport report = sim808.getSignalQuality();
4
5     bool isAvailable = static_cast<int8_t>(netStatus) & (static_cast<int8_t>(SIM808NetworkRegistrationState::Registered)
6     | static_cast<int8_t>(SIM808NetworkRegistrationState::Roaming)) != 0;
7
8     if(!isAvailable) {
9         Serial.println("SEM INTERNET...");
10        return false;
11    }
12
13    bool enabled = false;
14    do {
15        Serial.println("Habilitando SIM808 GPRS...");
16        enabled = sim808.enableGprs(GPRS_APN, GPRS_USER, GPRS_PASS);
17        delay(500);
18    } while(!enabled);
19
20    Serial.println("Enviando requisição HTTP POST...");
21
22    char url = "";
23    if (tipo == 1) { //SOLAR
24        url = "http://tccadriel.eastus.cloudapp.azure.com:8080/api/v1/WkHZvn4K8mCFTV0Z63cd/telemetry";
25    } else { //EOLICO
26        url = "http://tccadriel.eastus.cloudapp.azure.com:8080/api/v1/huZ0DoVPhFQzuuqpVjoo/telemetry";
27    }
28
29    serializeJson(json, buffer);
30    uint16_t responseCode = sim808.httpPost(url, S_F("application/json"), buffer, response, BUFFER_SIZE);
31
32    Serial.print("Server responded: ");
33    Serial.println(responseCode);
34
35    sim808.disableGprs();
36
37    return isAvailable && enabled && (responseCode == 200 || responseCode == 201 || responseCode == 204);
38 }

```

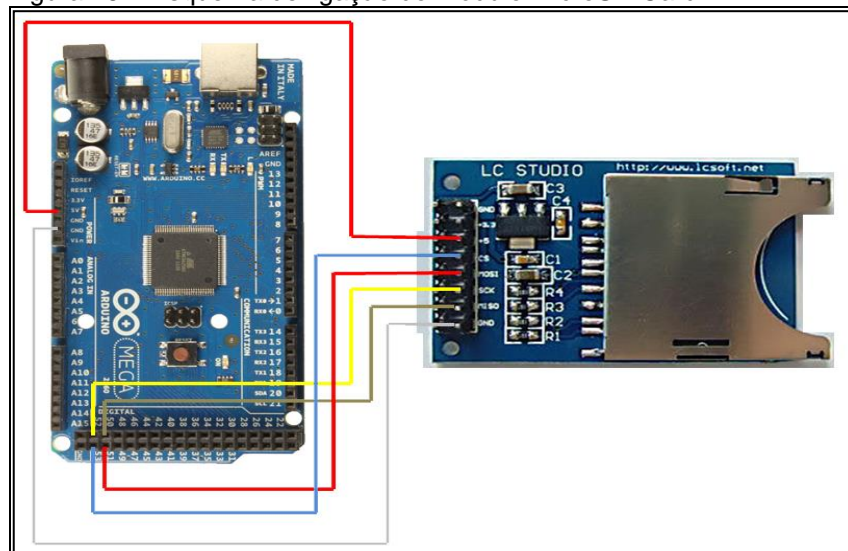
Fonte: Do autor.

4.1.5 Unidade de armazenamento

Conforme citado anteriormente, os dados que não obtiverem sucesso durante o envio para o servidor, serão armazenados em um cartão micro SD para que possam ser importados manualmente em momento posterior.

Para armazenamos os dados, foi utilizado o módulo *MicroSD Card* juntamente com um cartão de memória de 10GB, conforme exibido na figura 16. Este módulo trabalha com o sistema de comunicação SPI, e por tanto, utiliza como base os pinos SCK, MOSI, MISO e CS, que são atendidos conforme os critérios de pinagem estabelecidos pelo Arduino, no caso do modelo utilizado neste projeto, o Mega, como pode ser observado na figura 16, os pinos 52, 50, 51 e 53, respectivamente.

Figura 16 – Esquema de ligação do módulo MicroSD Card



Fonte: Do autor.

4.1.6 Montagem do circuito

O circuito inicialmente foi montado em *protoboards* a fim de facilitar a manipulação e os testes de cada componente do projeto.

Posteriormente, em uma impressora de corte a laser, foram utilizados os vetores disponibilizados no Github por Brown Dog Gadgets (BrownDogGadgets), e com algumas modificações para comportar o aerogerador em sua base, foram confeccionadas as peças de madeira MDF que fazem a estrutura do rastreador solar biaxial.

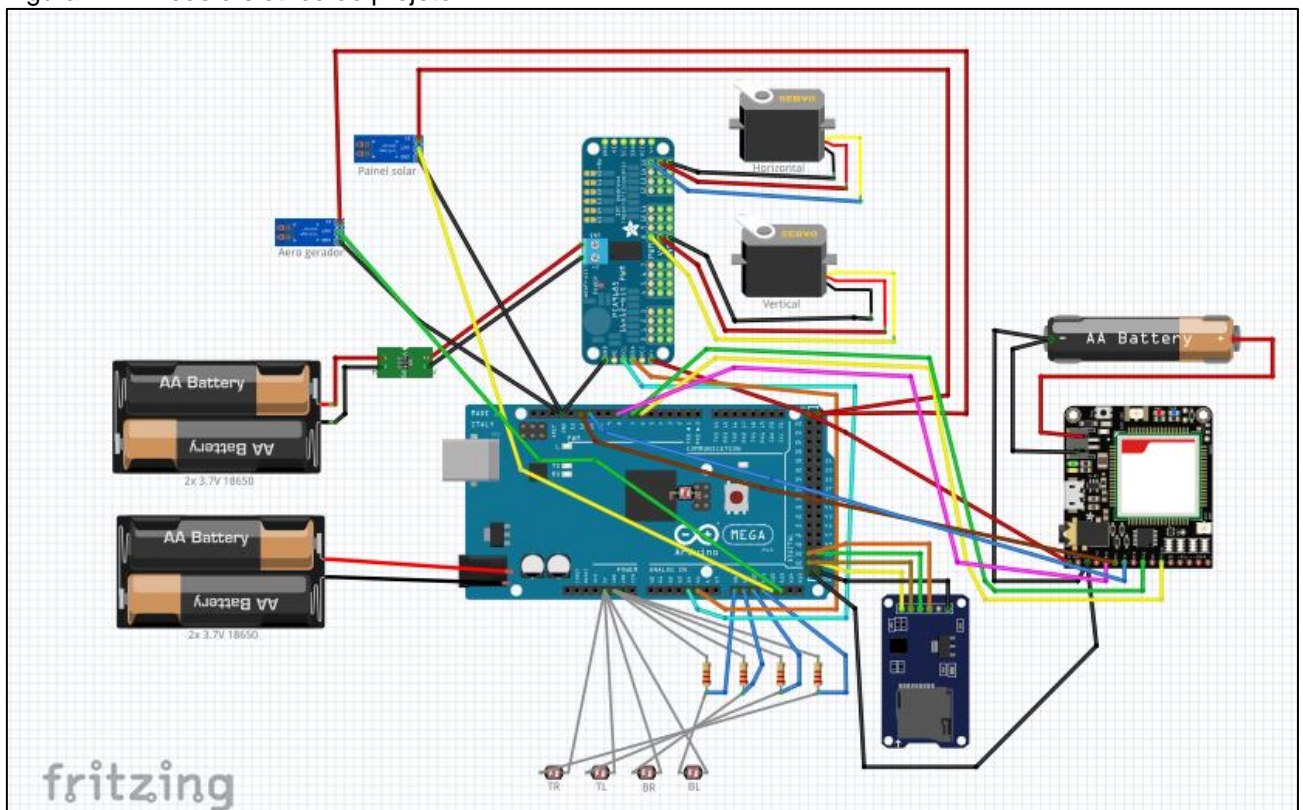
Com a estrutura montada e os motores movimentando o painel solar na horizontal e vertical, houve a necessidade de alimentá-los de forma independente do restante do circuito devido alto consumo e instabilidades, porém um dos motores continuava “trepidando” durante seu uso, e isso foi corrigido utilizando um regulador de voltagem “UBEC” 6 V, e um módulo PCA9685 PWM Servo 16 canais, capaz de receber uma alimentação externa e controlar até 16 servos motores através do protocolo I2C (pinos SCL e SDA do microcontrolador).

Após as correções necessárias, houve a necessidade de levar o circuito a campo, porém o Arduino, os sensores e os módulos continuavam expostos ao ambiente e o clima, e por tanto, foi desenvolvida uma caixa cúbica de madeira MDP com 18 cm de altura e 45 cm de largura capaz de comportar todos os componentes e

ligações necessárias, juntamente com uma *proto-board* pequena com o objetivo principal de evitar soldas e permitir evoluções futuras no projeto.

Para alimentar o projeto e não depender da disponibilidade da rede elétrica no local em que ele se encontrar, foram utilizadas 5 baterias modelo 18650, ligadas individualmente a módulos controladores/carregadores TP4056, e divididas em 3 grupos. O grupo 1 é composto de apenas uma célula de bateria e fornece 3.7 V ao módulo SIM808 (GPS e GSM), já o grupo 2 é composto de 2 células de baterias, fornecendo 7.4 V aos motores (regulado para 6 V pelo UBECE e disponibilizado ao módulo PCA9685), o grupo 3 também é composto por 2 células, fornecendo 7.4 V ao Arduino e demais componentes do projeto. O circuito elétrico deste projeto foi modelado utilizando o programa *open-source* Fritzing, e o resultado pode ser visto na figura 17.

Figura 17 – Modelo elétrico do projeto



Fonte: Do autor.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Para a criação do sistema supervisor foi disponibilizada uma máquina virtual na Microsoft Azure com Ubuntu Server e utilizado o Thingsboard para criação da *dashboard* de acompanhamento. Foi desenvolvido também uma ferramenta utilitária para importação manual das medições armazenadas no cartão de memória, utilizando a biblioteca React com linguagem de programação Javascript.

4.2.1 Criação do sistema supervisor com Thingsboard

Durante o levantamento bibliográfico a respeito da tecnologia a ser utilizada para o desenvolvimento do sistema supervisor, foi encontrada a ferramenta *open-source* Thingsboard, que segundo THINGSBOARD (2019), é uma plataforma *IoT* de código aberto para coletar, processar, visualizar e gerenciar dados, permitindo a conectividade de dispositivos por meio de protocolos MQTT, CoAP e HTTP.

O Thingsboard é dividido em duas distribuições, a versão *open-source* e gratuita *Community Edition* (CE) e a versão paga *Professional Edition* (PE).

Foi instalado e disponibilizado no servidor a distribuição CE na versão 2.4.1 seguindo as orientações disponibilizadas no Github dos desenvolvedores, juntamente com um banco de dados PostgreSQL, indicado para até 5.000 requisições por segundo. Para quantidades maiores de requisições, o Thingsboard orienta e suporta banco de dados híbrido, PostgreSQL + Cassandra DB, gerenciado pela própria ferramenta. Após a instalação e inicialização do serviço, a interface estará disponível para acesso na porta 8080.

A ferramenta disponibiliza três níveis de acesso de usuários, divididos em:

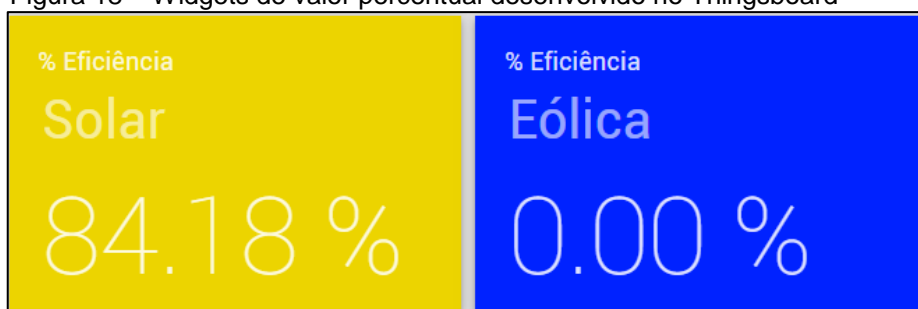
- a) *customer*: usuário com menor privilégio, permite os dados das dashboards que lhe foram concedidas permissões;
- b) *tenant administrador*: usuário responsável por definir quem são os customers, as permissões de cada um, fazer a criação das dashboards da sua organização;
- c) *system administrator*: usuário com acesso total, acumulando as permissões do usuário *tenant* e também sendo o responsável pelo

cadastro dos usuários *tenants*, podendo também cadastrar os *customers* e as dashboards de cada *tenant*. Este usuário também pode criar novos widgets utilizando HTML, CSS e Javascript, que são componentes que podem ser disponibilizados para visualização de dados em uma dashboard.

Para este projeto, foi utilizado um usuário *tenant* e cadastrado uma dashboard com título “Eagle – Energy Monitor” que será nosso sistema supervisor, nele disponibilizamos alguns widgets padrões da ferramenta para listar o histórico dos dados já enviados, e um gráfico de comparação entre a eficiência solar e eólica.

Utilizando HTML, CSS e Javascript foi desenvolvido um *widget* que exibe um valor percentual, conforme exemplo demonstrado na figura 18, e utilizado duas vezes na dashboard para exibir a última medição do percentual de eficiência solar e do percentual de eficiência eólica.

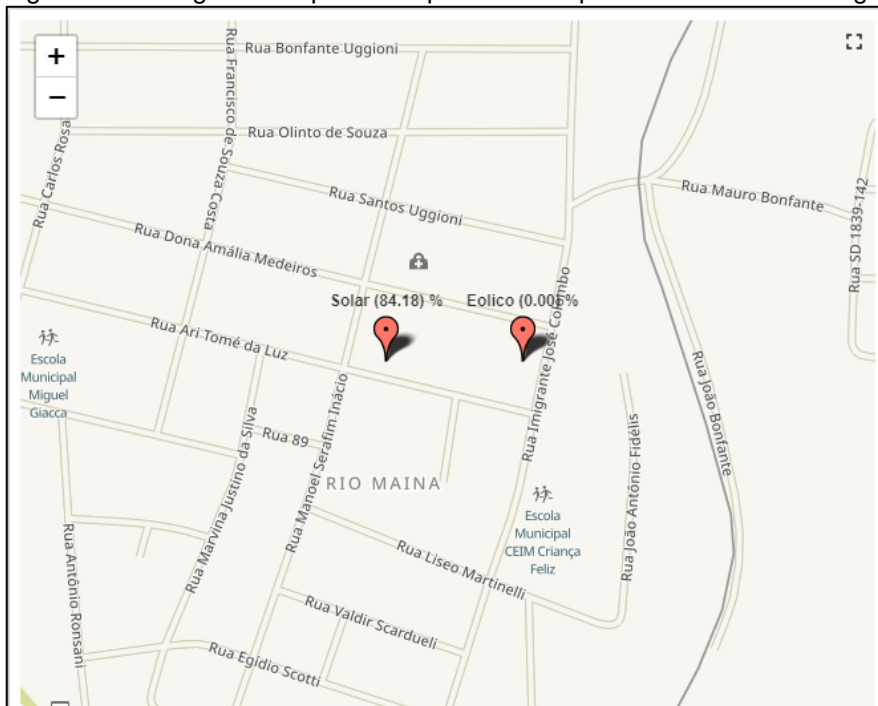
Figura 18 – Widgets de valor percentual desenvolvido no Thingsboard



Fonte: Do autor.

Foi disponibilizado também um *widget* de mapa integrado com o OpenStreetMap, um mapa *open-source*, que exibe dois ícones (pinos) no mapa com a localização do projeto e a média do percentual de eficiência solar, como pode ser visualizado na figura 19.

Figura 19 – Widget de mapa com OpenStreetMap desenvolvido no Thingsboard



Fonte: Do autor.

O resultado final do sistema supervisório está disponível no apêndice A em modelo *desktop*, e no apêndice B em modelo responsivo para dispositivos móveis.

A permissão de acesso a *dashboard* foi desativada, marcando-a como publica, para que possa ser acessada por qualquer pessoa sem a necessidade de um usuário e/ou login no sistema, mas o mesmo permite que todo este controle de acessos e usuários sejam feitas através do painel de configuração.

4.2.2 Utilitário para importação de dados

Os dados que não obtiveram sucesso na comunicação com o servidor, estão armazenados no cartão de memória, e eles podem ser integrados ao sistema supervisório através de uma ferramenta utilitária criada durante o projeto.

Para a criação do utilitário de importação de dados, foi utilizada a biblioteca de desenvolvimento Javascript do Facebook, o React, juntamente com o React Dropzone.

A ferramenta (apêndice C) permite que sejam selecionados os arquivos em formato texto do cartão de memória da estação de medição e importados para o navegador, e após o upload dos arquivos, é possível enviá-los ao sistema supervisorio.

Para fazer o envio para o sistema supervisorio, conforme código fonte disponibilizado na figura 20, o utilitário percorre todas as linhas dos arquivos e monta uma requisição POST (HTTP) para cada linha, e envia ao servidor onde está hospedado o Thingsboard de acordo com cada um dos dispositivos da leitura.

Figura 20 – Código fonte do utilitário para envio dos dados

```
onDrop = acceptedFiles => {
  if (!acceptedFiles || acceptedFiles.length === 0) return;

  acceptedFiles.forEach(file => {
    const reader = new FileReader();
    const fileName = file.name.trim().toLowerCase();

    if (!fileName.startsWith('solar.txt') &&
        !fileName.startsWith('eolico.txt')) {
      window.alert('Atenção! Só é possível enviar os arquivos gerador pelo Arduino.');
```

```
      return;
    }

    reader.onload = event => {
      const fileStr = event.target.result;
      const fileLines = fileStr.split('\n');
      const urlApi = 'http://tccadriel.eastus.cloudapp.azure.com:8080/api/v1/';
      let token = '';

      if (fileName.startsWith('solar.txt')) {
        token = 'WkHZvn4KBmCFTV0Z63cd'; //solar
      } else {
        token = 'huZ0DoVPhFQzuuqpVjoo'; //eolico
      }

      var getEpochMillis = function(dateStr) {
        var r = /^s*(\d{4})(\d\d)(\d\d)(\d\d)(\d\d)\s*$/;
        m = (""+dateStr).match(r);

        return (m) ? Date.UTC(m[1], m[2]-1, m[3], m[4], m[5], m[6]) : undefined;
      };

      fileLines.forEach(function(linha) {
        let json = JSON.parse(linha);

        json.ts = getEpochMillis(json.ts);

        fetch(urlApi + token + '/telemetry', {
          method: 'POST',
          headers: {
            'Accept': 'application/json',
            'Content-Type': 'application/json',
          },
```

Fonte: Do autor.

4.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

A comunicação entre a estação de medição e o servidor é feita através de requisições POST (HTTP) enviadas pelo Arduino ao Thingsboard via rede GSM/GPRS utilizando o módulo SIM808.

Estas requisições são conhecidas como telemetrias, e são montadas de acordo com cada dispositivo cadastrado no Thingsboard, onde cada um recebe um ACCESS_TOKEN único que deve estar presente na URL da requisição, conforme exemplo: *http://host:porta/api/v1/\$ACCESS_TOKEN/telemetry*.

Os dados são enviados via JSON, e devem seguir um padrão estipulado pelo Thingsboard, conforme exemplificado na figura 20, onde as medições ficam em um objeto “values” com cada propriedade e seu valor, e caso a medição não tenha sido feita no horário de envio da requisição, deverá ter também um objeto “ts” com a data/hora da medição em formato UNIX/Epoch (total de milissegundos desde 01 de janeiro de 1970).

Para a estação de medição criamos dois dispositivos no Thingsboard, um de nome “Solar” e outro “Eolico”, e cada dispositivo tem quatro propriedades, “tensao”, “percEficiencia”, “latitude” e “longitude”, a fim de atender as medições dos sensores de tensão do painel solar e do aerogerador, e também as informações de localização GPS.

Figura 21 – Estrutura do JSON

```
1 {  
2   "ts": 1570909274370, /*UNIX/Epoch Time - opcional*/  
3   "values": { /*Objeto com os valores a serem armazenados no sistema supervisorio*/  
4     "tensao": 6.0, /*Tensao medida pelo sensor*/  
5     "percEficiencia": 50.0, /*Percentual de eficiencia da tensao medida*/  
6     "latitude": -28.6646482, /*Latitude obtida pelo GPS*/  
7     "longitude": -49.4219305 /*Longitude obtida pelo GPS*/  
8   }  
9 }
```

Fonte: Do autor.

O JSON é montado dinamicamente pelo Arduino em tempo de execução, conforme figura 22, assim como a requisição já demonstrada anteriormente na figura 15, e enviado via POST utilizando a rede GSM/GPRS do módulo SIM808.

Figura 22 – Criação do JSON pelo Arduino

```
float latitudeGPS = getLatitudeGPS();
float longitudeGPS = getLongitudeGPS();

DynamicJsonDocument medicaoSolar(2*JSON_OBJECT_SIZE(4));

JsonObject values = medicaoSolar.createNestedObject("values");

float tensaoSolar = getTensaoSolar();
values["tensao"] = tensaoSolar;
values["percEficiencia"] = getEficienciaSolar(tensaoSolar);
values["latitude"] = latitudeGPS;
values["longitude"] = longitudeGPS;
```

Fonte: Do autor.

Os dados que não obtiveram sucesso durante a comunicação com o servidor, são armazenados no cartão de memória em formato texto juntamente com a data/hora da medição, conforme figura 23, e posteriormente são enviados para o servidor utilizando o utilitário de importação de dados.

Figura 23 – Gravação do arquivo com os dados no cartão de memória

```
void escreveSolar(char conteudo[512]) {
    myFile = SD.open("solar.txt", FILE_WRITE);

    if (myFile) {
        myFile.println(conteudo);
        myFile.close();
    } else {
        Serial.println("File not found!");
    }
}

void escreveEolico(char conteudo[512]) {
    myFile = SD.open("eolico.txt", FILE_WRITE);

    if (myFile) {
        myFile.println(conteudo);
        myFile.close();
    } else {
        Serial.println("File not found!");
    }
}
```

Fonte: Do autor.

Para o envio dos dados através do utilitário de importação, são percorridas todas as linhas do arquivo, alterada a propriedade “ts”, que se encontra com uma data/hora no formato UTC devido a limitações do módulo SIM808, para o formato UNIX/Epoch, e convertida para JSON, conforme já demonstrado na figura 20.

Cada JSON é adicionado a uma requisição POST e enviado para o servidor de maneira similar a requisição feita pelo Arduino, como demonstrado na figura 24.

Figura 24 – Envio da requisição POST através do utilitário de importação

```
fileLines.forEach(function(linha) {  
    let json = JSON.parse(linha);  
  
    json.ts = getEpochMillis(json.ts);  
  
    fetch(urlApi + token + '/telemetry', {  
        method: 'POST',  
        headers: {  
            'Accept': 'application/json',  
            'Content-Type': 'application/json',  
        },  
        body: JSON.stringify(json),  
    }).then(function(response) {  
        console.log(response);  
    }).catch(function(response) {  
        console.log(response);  
    });  
});
```

Fonte: Do autor.

4.4 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a montagem final da estação de medição de energia sustentável, foram necessários os itens especificados na tabela 3, nele não foi adicionado valores referentes aos custos com fios, soldas, acabamentos e frete.

Nem todos os produtos citados foram comprados em lojas brasileiras, e por tanto, os valores são referentes a cotação do dólar no momento da compra.

Tabela 3 – Lista de componentes utilizados no projeto

Componente	Loja	Qtd.	Valor Un.	Valor Total
Arduino Mega	UsinaInfo	1	97,50	97,50
Painel solar 12 V	Mercado Livre	1	43,99	43,99
Aerogerador vertical 5.5 V	Banggood	1	24,05	24,05
Servo motor Sg90s	Mercado Livre	2	19,98	39,96
TP4056	Banggood	5	7,59	37,95
Bateria 18650	UsinaInfo	5	18,90	94,50
Suporte para baterias	UsinaInfo	5	6,30	31,50
Sensor de tensão	UsinaInfo	2	10,50	21,00
Módulo PCA9685	Banggood	1	13,89	13,89
Módulo SIM808	Aliexpress	1	61,51	61,51
Ubec 5V/6V	Mercado Livre	1	28,00	28,00
Módulo Micro SD Card	Mercado Livre	1	10,90	10,90
Cartão de memória 16GB	Mercado Livre	1	35,00	35,00
LDR 5mm	UsinaInfo	4	1,15	4,60
Total:				544,35

Fonte: Do autor.

Para a comparação de preços, foi pesquisado no site Mercado livre o custo de um kit solar residencial e de um aerogerador, desconsiderando os custos de frete e instalação. Foram obtidos valores totalizando 7.520,00 reais (R\$ 3.900,00 solar + R\$ 3.620,00 eólico). Levando em consideração que tais valores seriam gastos sem uma análise prévia da viabilidade e da eficiência na geração de energia no local em que será instalado, o custo de 544,35 reais para a criação de uma estação de análise do local tende a ser pequeno.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram feitos em ambiente aberto em dias de sol durante o mês de outubro e novembro (estação primavera).

Os primeiros testes ocorreram no terraço de um prédio de 8 andares (apêndice D), deixando o projeto exposto durante cerca de 8 horas diárias, por cinco dias, a eficiência média para produção de energia solar neste local foi de 90%.

Os demais testes foram feitos em um telhado residencial (apêndice E), com o rastreador biaxial desativado (com o painel solar numa inclinação fixa de aproximadamente 30°), deixando o projeto exposto por cerca de 8 horas diárias, por

dois dias, onde a eficiência média para produção de energia solar neste local foi de 98%.

Um detalhe encontrado durante os testes que não obteve correção, é o fato de a inicialização da estação travar enquanto aguarda a inicialização do módulo GPS/GPRS, pois este módulo precisa ser inicializado no *setup* da aplicação para que possa validar o chip e disponibilizar as funções de GPS.

O SunData (Atlas Brasileiro de Energia Solar), do CRESESB, exibe uma estação localizada a cerca de 5 quilômetros de distância dos pontos utilizados nos testes, como sendo o ponto de medição mais próximo. Nesta estação, a irradiação solar média para o mês de outubro/2019 foi de 4,21 kWh/m². dia, já nos testes realizados durante o projeto, foi obtida uma eficiência média de 94%. Levando em consideração que os testes não cobriram todo o mês de outubro/2019, e que em dias nublados e chuvosos a eficiência cai consideravelmente fazendo com que a eficiência média seja reduzida, o protótipo apresenta valores que podem se aproximar dos que são mensurados pelo SunData, porém, vale ressaltar que a medição da eficiência observando apenas a variância da tensão tende a ser menos precisa que se medíssemos a potência, e por tanto, se fazem necessários testes mais precisos e comparativos por parte de pesquisadores da área de energias.

5 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho de conclusão de curso exigiu do autor a realização de pesquisas sobre a produção de energia no Brasil e no mundo, a forma com que ocorre a conversão de energia solar em energia elétrica, e como podemos obtê-la, para assim, possibilitar a criação de um sistema mais eficiente e de fácil manuseio.

Foram realizados estudos e levantamentos técnicos sobre as atuais maneiras de se medir a eficiência de uma localização em gerar energia sustentável. Tornou-se também indispensável o conhecimento técnico em eletrônica, adquirido através de pesquisas e também com o auxílio de colegas e livros, para possibilitar a montagem do circuito tornando-o mais eficiente e estável.

Já com o protótipo montado, pode-se analisar os custos envolvendo a estação de medição, sendo evidente a possibilidade de redução de tais custos, como por exemplo, a substituição do Arduino pelo chip controlador Atmega.

As maiores dificuldades encontradas foram a nível de hardware, mesmo o Arduino abstraindo e simplificando boa parte dos conhecimentos necessários. Com as dificuldades superadas, foi possível realizar toda a automação e gerenciamento das medições de tensão e eficiência utilizando a rede GSM para comunicação dos dados com o sistema supervisor.

Após a conclusão deste projeto, pode-se pensar a respeito dos trabalhos futuros, um deles seria a utilização deste projeto para coleta massiva de dados afim de minerá-los, criando um mapa de calor regional do potencial de geração de energia solar. Outro trabalho possível é um estudo comparativo entre o Thingsboard e outras ferramentas open-source de criação de sistemas supervisórios. Um outro trabalho seria um estudo comparativo entre a eficiência na geração de energia solar utilizando um rastreador, e a geração fixa, utilizando a estação de medição desenvolvida neste trabalho. Pode-se também comparar a eficiência solar medida pela estação de medição com as medições tradicionais, avaliando assim a eficiência e precisão de cada uma das ferramentas. Sendo possível também fazer alterações no projeto possibilitando a geração de energia por meio de outras fontes renováveis como a eólica e a criação de uma micro usina hidrelétrica.

REFERÊNCIAS

AMÉRICA DO SOL. **Benefícios e Custos da Energia Solar**. Disponível em: <http://americadosol.org/beneficios-e-custos-da-energia-solar/>. Acesso em: 1 abr. 2019.

ANTONIO, Marco. **Programação de Microcontroladores PIC Usando Linguagem C**. Vitória: CEFET ES, 2008. 98 p.

Anuário Estatístico De Energia Elétrica 2018. Rio de Janeiro: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2018. Anual. Disponível em: [http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202018\(vf\).xlsx](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202018(vf).xlsx). Acesso em: 31 mar. 2019.

BAJERSKI, I.; ABELLA, V. D. B. **Braço Robótico Com Controle Remoto Bluetooth**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 64. 2010.

BEN, **Balanço Energético Nacional. 2018: Ano Base 2017**. 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 25 mar. 2019.

BIM, Edson. **Máquinas Elétricas e Acionamento**: uma introdução. Campinas: UNICAMP-Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, 2009.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Energia Eólica no Brasil e Mundo: Ano de referência – 2016**. 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/15+-+Energia+E%C3%B3lica+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29+-+NOVO/f63a15ea-9d2c-4d27-9400-5d7c3fd97b22?version=1.4>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CAMPOS, F. **Geração de Energia Eólica a Partir de Fonte Eólica com Gerador Assíncrono Conectado a Conversor Estático Duplo**. Tese (Doutorado) - PUC-SP, 2004.

CAPELLI, Alexandre. Sensores Industriais nos Processos da Manufatura. **Saber Eletrônica**, Tapuapé, n. 462, p.52-58, 01 jun. 2012.

CARVALHO, Geraldo. **MÁQUINAS ELETRICAS**: Teoria e Ensaio. 4.ed. São Paulo: Érica, 2011.

CASTELUCCI, Daniella. 2011. **PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**. Disponível em:

<https://daniellacastelucci.wordpress.com/2011/04/08/protocolos-de-comunicacao-em-redes-de-computadores>. Acesso em: 03 jun. 2019.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à energia fotovoltaica**. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO DEEC / Secção de Energia, 2002.

CEMIG. **CEMIG E GOVERNO ESTADUAL INAUGURAM USINA SOLAR NO MINEIRÃO**. Disponível em:

<http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/ptbr/Paginas/Usina-Solar-do-Mineirao.aspx>. Acesso em: 1 abr. 2019

CEPEL-CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 50p. 2014.

CRESESB, 2006. **Energia solar Princípios e aplicações**. Rio de Janeiro, 50 p. Brasil. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Disponível em:

www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 4 abr. 2019.

COPA 2014. **Projeto Mineirão solar**. Disponível em: <http://www.copa2014.gov.br/pt-br/noticia/inaugurada-usina-solar-fotovoltaica-domineirao>. Acesso em: 1 abr. 2019.

DIAS, M. **Energia fotovoltaica para linhas de transmissão**. In: XV SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu (PR), 1999.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em:

<http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 31 mar. 2019.

EVANS. Brian. **Beginning Arduino Programming**. Denver: Apress, 2011. 272 p.

FITZGERALD, A.E.; KINGSLEY, Charles, Jr.; UMANS, Stephen D. **MÁQUINAS ELÉTRICAS**: Com introdução a eletrônica de potência. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

GUGELMIN, Felipe. 2014. **Internet: qual a diferença entre os protocolos UDP e TCP?**. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/internet/57947-internet-diferenca-entre-protocolos-udp-tcp.htm>. Acesso em: 03 jun. 2019.

HIVEMQ. **MQTT Essential: Part 1 – Introducing MQTT**. Disponível em <http://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-1-introducing-mqtt>. Acesso em: 08 jun. 2019.

International Energy Agency (IEA). Disponível em:

<https://www.iea.org/statistics/electricity/>. Acesso em: 31 mar. 2019.

- INPE. PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar 2ª edição**. 2018. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf. Acesso em: 04 abr. 2019.
- JHA, A. R. **Wind Turbine Technology**. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011.
- MARINHO, José Edson Dos Santos; MARINHO, Ednaldo Dos Santos. Microcontrolador 8051. **Saber Eletrônica**, Tatuapé, v. 2, n. 2, p.13-33, 2 jan. 2001.
- MCROBERTS. Michael. **Arduino Básico**. 1. São Paulo: Novatec, 2011. 453 p.
- MONK. Simon. **30 Arduino Projects For The Evil Genius**. New York: McGraw-Hill, 2010. 191 p.
- NASCIMENTO, F. D. S. d. **Os últimos serão dos primeiros: uma análise sociológica do uso do celular**. Tese (Doutorado) — <http://www.teses.ufc.br/>, 2004. 23
- NORBURY, P. **Understanding the difference between consumer and industrial sd memory cards**. 2016. 25
- PORTAL SOLAR. **TOP 7 PAÍSES QUE MAIS USAM ENERGIA SOLAR**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/top-7-paises-que-maisusam-energia-solar.html>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- QUEIROZ, Ricardo Alexandro de Andrade. **Motores de Passo**. Salvador: Unifacs, 2002. 19p
- RÜTHER, Ricardo et al. Performance of the first grid-connected, BIPV installation in Brazil over eight years of continuous operation. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 21., 2006, Dresden. **Proceedings...** . Dresden: Labsolar, 2006. p. 2761 - 2764. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/228691773_Performance_of_the_First_Grid_Connected_BIPV_Installation_in_Brazil_Over_Eight_Years_of_Continuous_Operation. Acesso em: 26 abr. 2019.
- SALAMONI, I., RÜTHER, R. KNOB, P. et al., 2004, “O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificações e Interligados à Rede Elétrica em Centros Urbanos do Brasil: Dois Estudos de Caso”. *I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável*, São Paulo, 18-21 julho 2004.
- SANTOS, I. F. S.; FILHO, G.L.T.; BARROS, R.M.(2015). **Análises econômicas, de sensibilidade e elasticidade em projetos de energias renováveis no Brasil**. Revista Brasileira de Energia, v. 21, nº 2, 2015.

STALLINGS, William; BROWN, Lawrie. **Segurança de Computadores: Princípios e Práticas**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2013. ISBN 9788535264494.

SVERZUT, J. U. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a caminho da terceira geração (3G)**. Editora: Érica. ISBN, p. 85–3650, 2005. 24 p.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Computer networks**. 5. ed. Amsterdam: Pearson Education, 2011. 600 p.

TATEOKI, G. T. et al. **Monitoramento de dados via internet baseado em telefonia celular**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2007. 24 p.

THINGSBOARD. **What is Thingsboard?** Disponível em: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>. Acesso em: 28 out. 2019.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. B. de. **Sensores Industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 220 p.

TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S. **Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Education, 2003. 754 p.

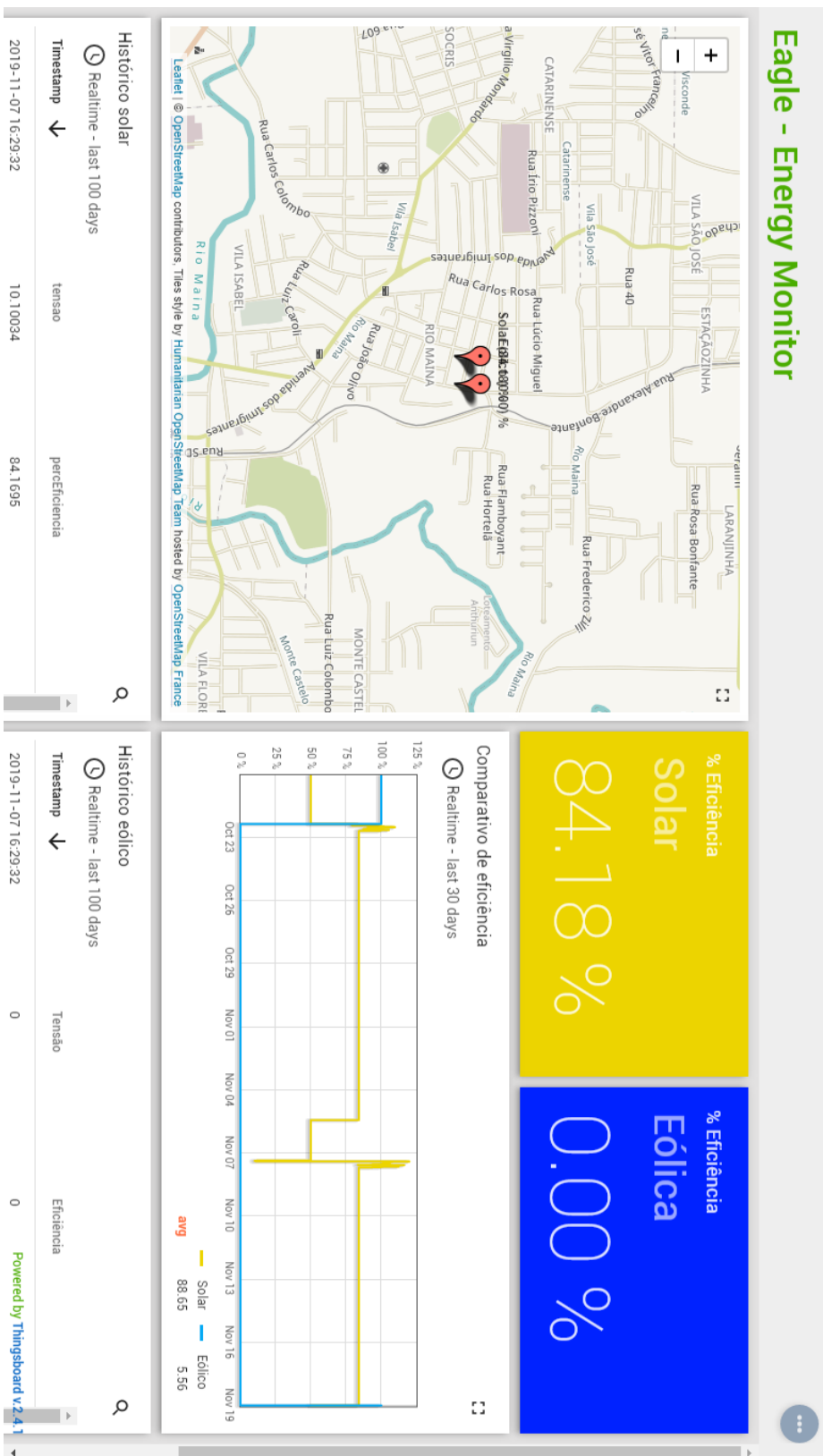
TOLSTOY, Ivan. **James Clerk Maxwell: A Biography**. Chicago: University of Chicago Press, 1982.

TUDE, E. Ams/tdma (is-136). **Tutorial em telefonia celular**, São José dos Campos, Teleco, abr, 2003.

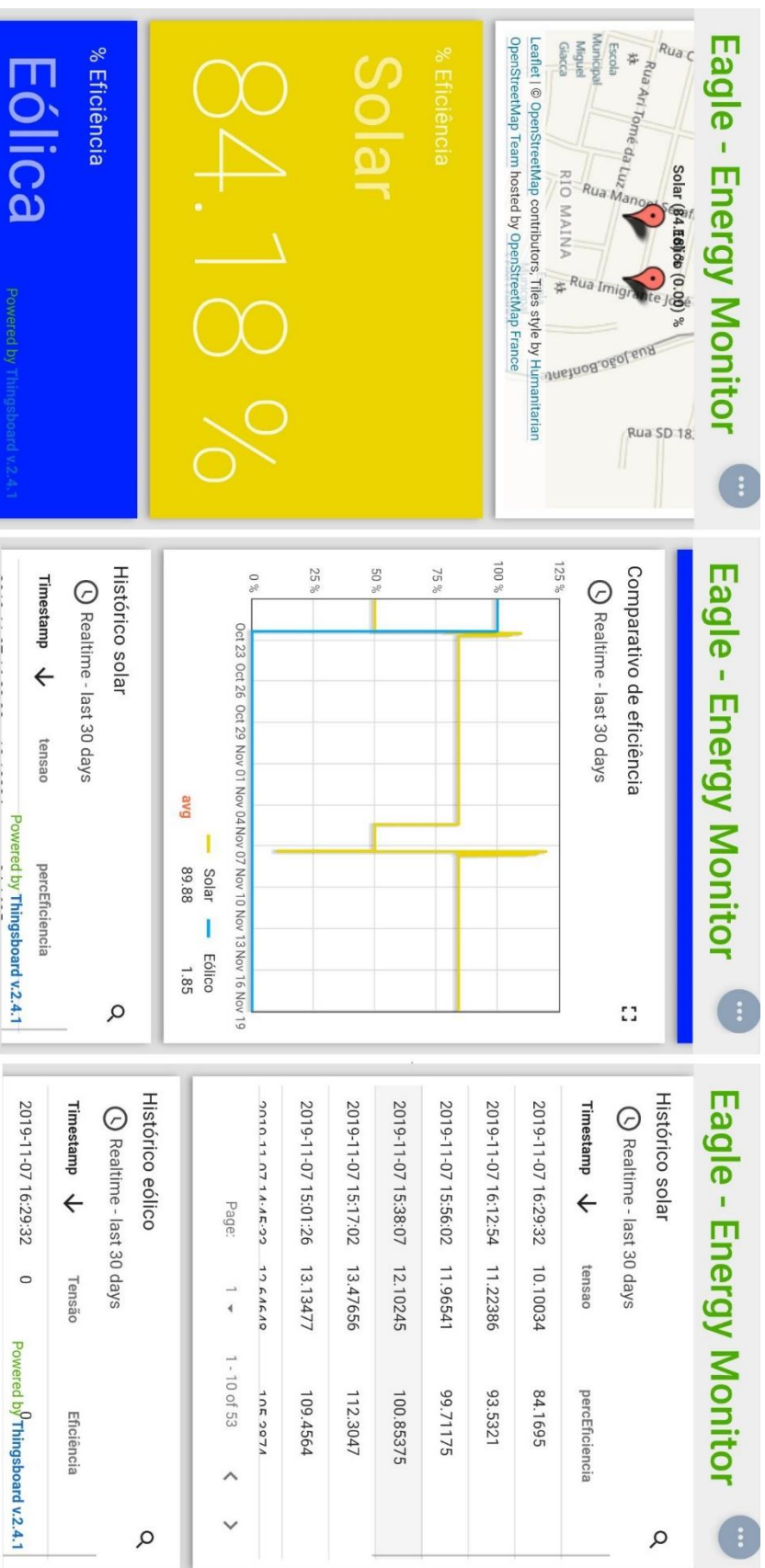
WALTER, Arnaldo. Fomento à geração elétrica com fontes renováveis de energia no meio rural brasileiro: barreiras, ações e perspectivas. In: **Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural**. 2000.

APÊNDICES

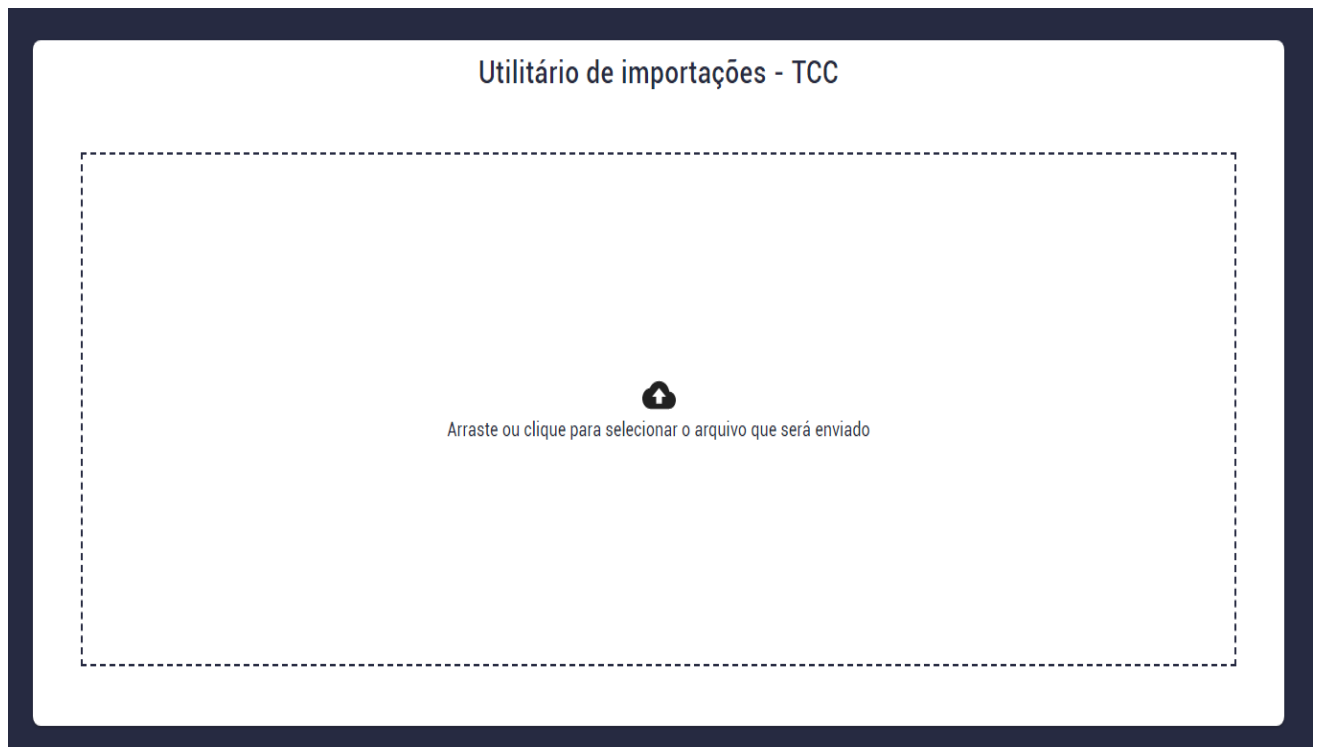
APÊNDICE A – Sistema supervisorio em versão Desktop



APÊNDICE B – Sistema supervisorio em versão Mobile

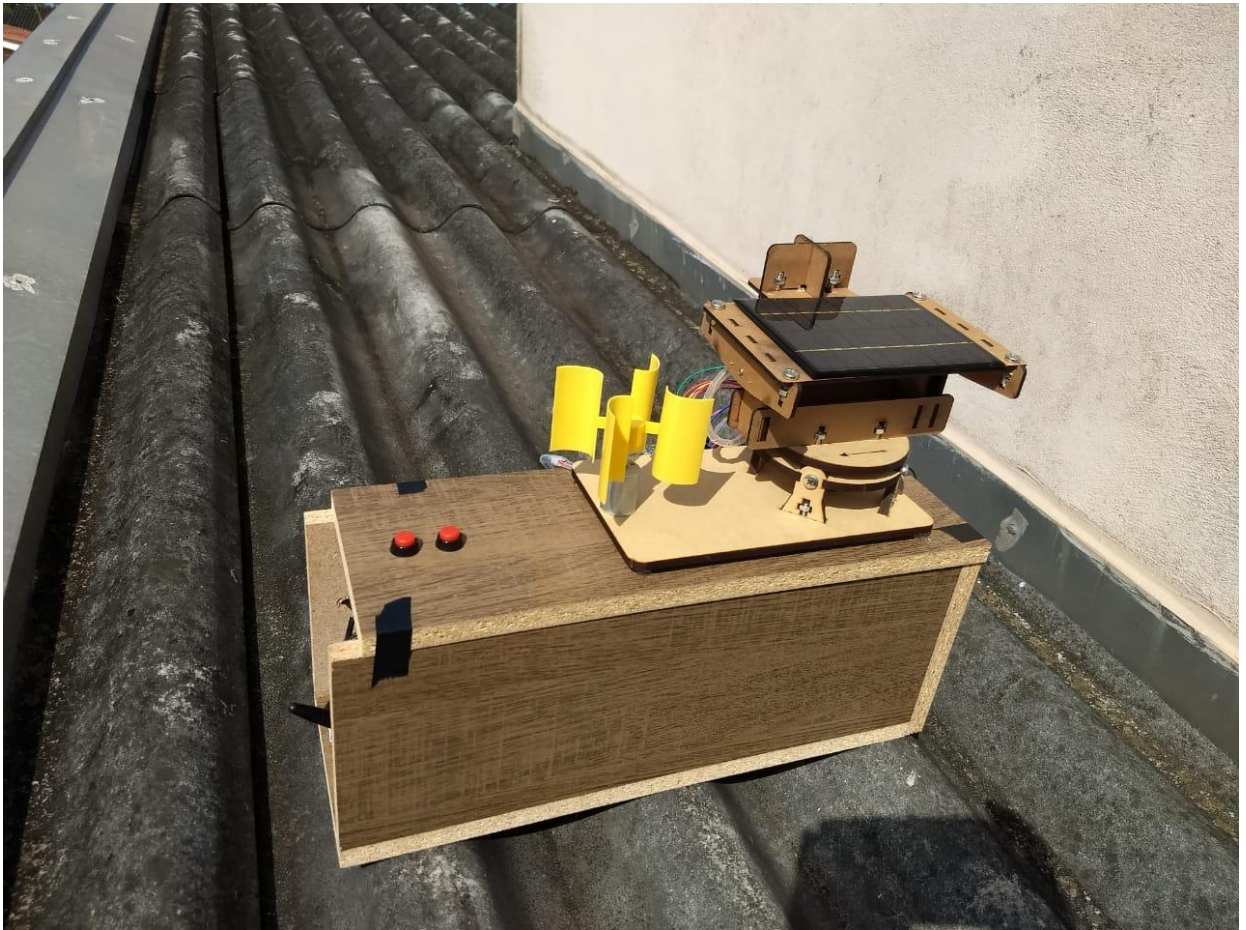


APÊNDICE C – Tela do utilitário de importação de dados





APÊNDICE E – Telhado residencial onde ocorreram testes de ângulo fixo



APENDICE F – Artigo final

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO MICROCONTROLADORES COM MONITORAMENTO VIA SISTEMA SUPERVISÓRIO ONLINE

Prof. Esp. Sérgio Coral¹, Adriel Cardoso da Rosa¹

¹Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)
CEP 88806-000 – Criciúma – SC – Brasil

sergiocoral@unesc.net, adriel_cr@hotmail.com

Abstract. *The proximity to the depletion of fossil fuel reserves and the need to reduce greenhouse gas (GHG) emissions has led society to rethink and adopt new investment policies for renewable and sustainable energy sources, thus making them popularize more each day. With this process taking place in the world, it was identified the need to research about energy production from such sources and develop a prototype to encourage further research, facilitating the understanding and reading of data through the automation of efficiency measurements, power generation and synchronizing the data with an online monitoring system.*

Resumo. *A proximidade com que se dará o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a necessidade de reduzir a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) tem feito com que a sociedade repense e adote novas políticas de investimento em fontes de energia renováveis e sustentáveis, fazendo com que elas se popularizem cada dia mais. Com tal processo ocorrendo no mundo, identificou-se a necessidade de pesquisar a respeito da produção de energia a partir de tais fontes e desenvolver um protótipo com o intuito incentivar novas pesquisas, facilitando o entendimento e leitura dos dados através da automatização de medições de eficiência na geração de energia e sincronizando tais informações com um sistema online de monitoramento.*

1. Introdução

A matriz energética mundial é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis de fontes esgotáveis, como o carvão, o óleo e o gás natural, porém a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis vem crescendo exponencialmente a cada ano e ganhando cada vez mais espaço na matriz, que atualmente, é ocupada com 5,6% de fontes renováveis (solares, eólicas, geotérmicas e de mares) (EPE, 2019).

No Brasil este percentual é de 7% da matriz, apesar de possuir grande potencial na geração de energia através de fontes renováveis (BEN, 2018). Tal desinteresse por parte dos investidores e da população, pode-se dar devido à complexidade na identificação de áreas com potencial para serem geradoras de energia através de fontes solares e eólicas, a dificuldade no acompanhamento das medições e estimativas da capacidade de produção, entre outros.

Diante dos pontos citados anteriormente, foi desenvolvido um protótipo de circuito para medição da eficiência na produção de energia utilizando fonte solar e eólica, sendo um sistema

de aquisição de dados integrado a um sistema supervisorio, ao qual disponibiliza tais informações e medições via internet.

2. Justificativa

As fontes renováveis de energia tiveram considerável aumento em sua procura no mundo todo, devido, principalmente, a proximidade com que se dará o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a necessidade de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Desde então, vem sendo necessária uma modificação das fontes de produção de energia, visando utilizar as que são renováveis (SANTOS et al., 2014).

Contudo, tais fontes de energia enfrentam alguns problemas de ordem econômica na sua expansão em virtude da necessidade de um alto investimento inicial e da incerteza dos ganhos, o que acaba gerando incertezas, e sensação de alto risco para os produtores e investidores do ramo, e consequentemente, se torna uma barreira para sua expansão (WALTER, 2000).

É neste momento que a tecnologia e a computação entram para servirem de provedores de informação a estes investidores, e para todos que desejam gerar energia renovável, criando uma ferramenta que tem por finalidade servir de alternativa para os meios tradicionais de se obter estimativas da eficiência de um local na geração de energia, buscando tornar-se um meio mais preciso, confiável, atualizado e de fácil acesso, auxiliando na diminuição de riscos com tais investimentos e incentivando cada vez mais no uso de fontes renováveis, beneficiando a todos, e principalmente, o meio ambiente.

3. Desenvolvimento da estação de medição

O trabalho consistiu na criação de um protótipo de estação para aquisição de dados de energias renováveis, possibilitando a medição da eficiência na geração elétrica de uma determinada localidade, juntamente com a criação de um sistema supervisorio que será responsável por armazenar, interpretar e exibir as leituras de dados obtidas pelo protótipo, disponibilizando tais informações de forma a permitir o acesso e acompanhamento pelos usuários via internet.

3.1. Rastreador solar biaxial

O projeto teve início com o desenvolvimento do rastreador solar biaxial, conhecido também como rastreador ativo, para o painel fotovoltaico. Isto significa que foram utilizados sensores para encontrar a fonte de luz mais brilhante, fazendo com que a face do painel sempre fique virada para esta fonte de luz.

Para tal, foram utilizados quatro fototransistores ou resistores dependentes de luz, do inglês *Light Dependent Resistor* (LDR), dispostos em um formato semelhante a um quadrado. O microcontrolador converte os valores analógicos enviados pelos LDRs em valores digitais, e agrupa-os a fim de obter a diferença entre a irradiância recebida pelos LDRs superiores e inferiores, o mesmo ocorrendo para os LDRs do lado direito e do lado esquerdo. Estas variáveis são utilizadas pelo microcontrolador para a realização do controle de movimentos

em torno dos eixos verticais e horizontais (também conhecidos como azimuth e elevação, respectivamente).

3.2. Sensor de tensão

O painel solar foi ligado a um sensor de tensão, responsável por aferir a tensão que posteriormente será obtida pelo microcontrolador.

Quando o microcontrolador obtém a tensão medida pelos sensores, também é calculado o percentual de eficiência do dispositivo mensurado. Para definirmos o percentual de eficiência de cada dispositivo, pegamos a tensão de pico informada pelo fabricante do painel solar (12 V) e aplicamos a uma regra de três simples para descobrirmos quantos por cento a tensão atual medida corresponde da tensão de pico.

3.3. Módulo GPS e GSM

O módulo escolhido para a comunicação GPS e GSM foi o SIM808 da SIMCom na sua versão 3.2.4, pois possui interface serial USB-TTL, simplificando a conexão com o microcontrolador.

Um problema encontrado durante a utilização deste módulo foi o fato dele precisar de uma inicialização manual pressionando o botão power localizado na lateral da placa por 3 segundos após a ligação na alimentação externa. Para contornar este problema, foi encontrada a biblioteca SIM808 disponibilizada por Bertrand Lamsle (blemasle) no Github, que utilizada, além dos pinos padrões RX e TX da placa, os pinos STATUS, PWR e RST, responsáveis por verificar o funcionamento da placa, ligá-la e reiniciá-la, respectivamente. Estes pinos por padrão não vieram soldados na placa, porém foram confeccionados após consulta ao datasheet da mesma.

Utilizando esta biblioteca, é possível enviar informação utilizando a rede GSM/GPRS e também obter de forma simplificada as informações da localização do protótipo através do GPS. Podemos ainda, também utilizando o GPS, obter a data e hora em formato UTC, que é armazenada juntamente com as medições de tensão e eficiência no cartão de memória micro SD.

3.4. Unidade de armazenamento

Conforme citado anteriormente, os dados que não obtiverem sucesso durante o envio para o servidor, serão armazenados em um cartão micro SD para que possam ser importados manualmente em momento posterior.

Para armazenarmos os dados, foi utilizado o módulo MicroSD Card juntamente com um cartão de memória de 10GB. Este módulo trabalha com o sistema de comunicação SPI, e por tanto, utiliza como base os pinos SCK, MOSI, MISO e CS, que são atendidos conforme os critérios de pinagem estabelecidos pelo Arduino.

3.5. Montagem do circuito

O circuito inicialmente foi montado em protoboards a fim de facilitar a manipulação e os testes de cada componente do projeto, e posteriormente, em uma impressora de corte a laser, foram utilizados os vetores disponibilizados no Github por Brown Dog Gadgets (BrownDogGadgets), e com algumas modificações para comportar o aerogerador em sua base, foram confeccionadas as peças de madeira MDF que fazem a estrutura do rastreador solar biaxial.

Com a estrutura montada e os motores movimentando o painel solar na horizontal e vertical, houve a necessidade de alimentá-los de forma independente do restante do circuito devido alto

consumo e instabilidades, porém um dos motores continuava “trepidando” durante seu uso, e isso foi corrigido utilizando um regulador de voltagem “UBEC” 6 V, e um módulo PCA9685 PWM Servo 16 canais, capaz de receber uma alimentação externa e controlar até 16 servos motores através do protocolo I2C (pinos SCL e SDA do microcontrolador).

Para alimentar o projeto e não depender da disponibilidade da rede elétrica no local em que ele se encontrar, foram utilizadas 5 baterias modelo 18650, ligadas individualmente a módulos controladores/carregadores TP4056, e divididas em 3 grupos. O grupo 1 é composto de apenas uma célula de bateria e fornece 3.7 V ao módulo SIM808 (GPS e GSM), já o grupo 2 é composto de 2 células de baterias, fornecendo 7.4 V aos motores (regulado para 6 V pelo UBEC e disponibilizado ao módulo PCA9685), o grupo 3 também é composto por 2 células, fornecendo 7.4 V ao Arduino e demais componentes do projeto.

3.6. Sistema supervisorio

Durante o levantamento bibliográfico a respeito da tecnologia a ser utilizada para o desenvolvimento do sistema supervisorio, foi encontrada a ferramenta *open-source* Thingsboard, que segundo THINGSBOARD (2019), é uma plataforma IoT de código aberto para coletar, processar, visualizar e gerenciar dados, permitindo a conectividade de dispositivos por meio de protocolos MQTT, CoAP e HTTP.

Utilizando HTML, CSS e Javascript foi desenvolvido um widget que exibe um valor percentual, e utilizado duas vezes na dashboard para exibir a última medição do percentual de eficiência solar e do percentual de eficiência eólica.

Foi disponibilizado também um widget de mapa integrado com o OpenStreetMap, um mapa *open-source*, que exibe dois ícones (pinos) no mapa com a localização do projeto e a média do percentual de eficiência solar.

3.7. Utilitário de importação de dados

Para a criação do utilitário de importação de dados, foi utilizada a biblioteca de desenvolvimento Javascript do Facebook, o React, juntamente com o React Dropzone.

A ferramenta permite que sejam selecionados os arquivos em formato texto do cartão de memória da estação de medição e importados para o navegador, e após o upload dos arquivos, é possível enviá-los ao sistema supervisorio.

Para fazer o envio para o sistema supervisorio, o utilitário percorre todas as linhas dos arquivos e monta uma requisição POST (HTTP) para cada linha, e envia ao servidor onde está hospedado o Thingsboard de acordo com cada um dos dispositivos da leitura.

4. Testes e Resultados

Os testes foram feitos em ambiente aberto em dias de sol durante o mês de outubro e novembro (estação primavera).

Os primeiros testes ocorreram no terraço de um prédio de 8 andares (apêndice D), deixando o projeto exposto durante cerca de 8 horas diárias, por cinco dias, a eficiência média para produção de energia solar neste local foi de 90%.

Os demais testes foram feitos em um telhado residencial (apêndice E), com o rastreador biaxial desativado (com o painel solar numa inclinação fixa de aproximadamente 30°), deixando o

projeto exposto por cerca de 8 horas diárias, por dois dias, onde a eficiência média para produção de energia solar neste local foi de 98%.

Um detalhe encontrado durante os testes que não obteve correção, é o fato de a inicialização da estação travar enquanto aguarda a inicialização do módulo GPS/GPRS, pois este módulo precisa ser inicializado no setup da aplicação para que possa validar o chip e disponibilizar as funções de GPS.

O SunData (Atlas Brasileiro de Energia Solar), do CRESESB, exibe uma estação localizada a cerca de 5 quilômetros de distância dos pontos utilizados nos testes, como sendo o ponto de medição mais próximo. Nesta estação, a irradiação solar média para o mês de outubro/2019 foi de 4,21 kWh/m². dia, já nos testes realizados durante o projeto, foi obtida uma eficiência média de 94%. Levando em consideração que os testes não cobriram todo o mês de outubro/2019, e que em dias nublados e chuvosos a eficiência cai consideravelmente fazendo com que a eficiência média seja reduzida, o protótipo apresenta valores que podem se aproximar dos que são mensurados pelo SunData, porém, vale ressaltar que a medição da eficiência observando apenas a variância da tensão tende a ser menos precisa que se medíssemos a potência, e por tanto, se fazem necessários testes mais precisos e comparativos por parte de pesquisadores da área de energias.

5. Conclusão

A realização deste trabalho de conclusão de curso exigiu do autor a realização de pesquisar sobre a produção de energia no Brasil e no mundo, a forma com que ocorre a conversão de energia solar em energia elétrica, e como podemos obtê-la, para assim, possibilitar a criação de um sistema mais eficiente e de fácil manuseio.

Foram realizados estudos e levantamentos técnicos sobre as atuais maneiras de se medir a eficiência de uma localização em gerar energia sustentável. Tornou-se também indispensável o conhecimento técnico em eletrônica, adquirido através de pesquisar e também com o auxílio de colegas e livros, para possibilitar a montagem do circuito tornando-o mais eficiente e estável.

Já com o protótipo montado, pode-se analisar os custos envolvendo a estação de medição, sendo evidente a possibilidade de redução de tais custos, como por exemplo, a substituição do Arduino pelo chip controlador Atmega.

As maiores dificuldades encontradas foram a nível de hardware, mesmo o Arduino abstraindo e simplificando boa parte dos conhecimentos necessários. Com as dificuldades superadas, foi possível realizar toda a automação e gerenciamento das medições de tensão e eficiência utilizando a rede GSM para comunicação dos dados com o sistema supervisor.

Após a conclusão deste projeto, pode-se pensar a respeito dos trabalhos futuros, um deles seria a utilização deste projeto para coleta massiva de dados afim de minerá-los, criando um mapa de calor regional do potencial de geração de energia solar. Outro trabalho possível é um estudo comparativo entre o Thingsboard e outras ferramentas open-source de criação de sistemas supervisórios. Um outro trabalho seria um estudo comparativo entre a eficiência na geração de energia solar utilizando um rastreador, e a geração fixa, utilizando a estação de medição desenvolvida neste trabalho. Pode-se também comparar a eficiência solar medida pela estação de medição com as medições tradicionais, avaliando assim a eficiência e precisão de cada uma das ferramentas. Sendo possível também fazer alterações no projeto possibilitando a geração de energia por meio de outras fontes renováveis como a eólica e a criação de uma micro usina hidrelétrica.

Referências

- BEN, Balanço Energético Nacional. 2018: Ano Base 2017. 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 25 mar. 2019.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 31 mar. 2019.
- SANTOS, I. F. S.; FILHO, G.L.T.; BARROS, R.M.(2015). Análises econômicas, de sensibilidade e elasticidade em projetos de energias renováveis no Brasil. Revista Brasileira de Energia, v. 21, nº 2, 2015. Knuth, D. E. (1984), The TeXbook, Addison Wesley, 15th edition.
- WALTER, Arnaldo. Fomento à geração elétrica com fontes renováveis de energia no meio rural brasileiro: barreiras, ações e perspectivas. In: Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural. 2000.